

Aus der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankhe
(Direktor: Prof.Dr.Dr. G. Steinhardt)
der Universität Erlangen-Nürnberg

TIEREXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN
ZUR FRAGE DER FUNKTIONELLEN ANPASSUNG
IM KAUSYSTEM

Habilitationsschrift
verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg
zur Erlangung der venia legendi für das
Fach Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde -insbesondere
Kieferorthopädie
vorgelegt von
Dr.med.dent.Hans Georg Sergl
aus München
Erlangen 1971

Aus der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkranke
(Direktor: Prof. Dr. Dr. G. Steinhardt)
der Universität Erlangen-Nürnberg

TIEREXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN
ZUR FRAGE DER FUNKTIONELLEN ANPASSUNG
IM KAUSYSTEM

Habilitationsschrift
verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg
zur Erlangung der *venia legendi* für das
Fach Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde -insbesondere
Kieferorthopädie
vorgelegt von
Dr. med. dent. Hans Georg Serogl
aus München
Erlangen 1971

INHALT

A. EINFÜHRUNG	Seite
I. Das Problem der funktionellen Anpassung	
1. Historischer Überblick	1
2. Funktion und Vererbung	3
3. Theorien der funktionellen Anpassung	4
II. Funktionelle Anpassung im Kausystem	
1. Das "Kausystem"	8
2. Die kaufunktionelle Belastung	8
3. Möglichkeiten der experimentellen Belastungs- variation	9
B. EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE FUNKTIONELLE ANPASSUNG IM KAUSYSTEM -LITERATURÜBERBLICK	
1. Interokklusale Aufbißkörper	10
2. Entfernung von Zähnen oder Zahnkronen	11
3. Kondylektomie	13
4. Kaumuskelsektion	14
5. Muskeltransposition	15
6. Nervendurchtrennung	15
7. Variation der Nahrungsmittelkonsistenz	16
C. EIGENE TIEREXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN	
1. Fragestellung und Versuchsplan	16



II. Material	Seite
1. Allgemeine Bemerkungen zum Kauapparat des Hauskaninchens (<i>Oryctolagus cuniculus</i>)	18
2. Versuchstiere	20
III. Methodik	
1. Narkose und Anaesthesie	21
2. Herstellung und Einsetzen der Aufbißschienen	21
3. Abschleifen der Zahnkronen	22
4. Operationsmethoden	22
5. Vitalmarkierung	24
6. Verlauf der Experimente	24
7. Auswertung der Versuchsergebnisse	26
IV. Ergebnisse	
1. Versuche mit Aufbißschienen bei jungen Versuchstieren	28
2. Versuche mit Aufbißschienen bei ausgewachsenen Versuchstieren	31
3. Abschleifen der rechten Seitenzähne	33
4. Kondylektomie am rechten Kiefergelenk	34
5. Implantation eines Kunststoffkeils in den Gelenk- spalt des rechten Kiefergelenkes	36
6. Muskeltransposition des rechten M. masseter und M. pterygoideus medialis	38
7. Muskelkürzung des rechten M. masseter und M. pterygoideus medialis	40

V. Diskussion	Seite
1. Die Wirkung der experimentellen Belastungs- variation	41
2. Die theoretische Bedeutung der Versuchser- gebnisse	47
3. Die Gültigkeit der Ergebnisse	52
D. ZUSAMMENFASSUNG	53
E. SCHRIFTTUM	57

A. EINFÜHRUNG

I. Das Problem der funktionellen Anpassung.

1. Historischer Überblick.

Wann die Beobachtung eines Zusammenhangs zwischen der Form und der Funktion von Organen erstmals gemacht wurde, läßt sich nicht genau datieren. Bekannt ist, daß sich GALILEI (1638) mit dem Einfluß der Funktion auf die Gestalt von Knochen, wo dieser Zusammenhang besonders augenfällig ist, beschäftigte. Das Thema scheint zu allen Zeiten das Interesse von Wissenschaftlern gefunden zu haben, wofür die große Zahl von Publikationen spricht, die diesem Gegenstand gewidmet sind. Die Betrachtungsweise hat sich dabei gewandelt. Die ursprünglich teleologische Sicht wurde immer mehr durch die kausalanalytische Betrachtungsweise verdrängt.

Seit BOURGERY (1832) wird auch die innere Form, die Struktur des Knochens, in diese Überlegungen einbezogen. BOURGERY versuchte ebenso wie später HUMPHRY (1858), H. MEYER (1867) und andere, die typischen Spongiosamuster, die erstmals im Atlas von LODER (1803) abgebildet wurden, als Ergebnis der funktionellen Beanspruchungen zu deuten. H. MEYER (1867) stellte fest, daß der Verlauf der Spongiosabälkchen jenen Zug- und Drucktrajektorien entspricht, die CULMANN (1866) mit einer graphischen Methode für einen Kran und später auf Veranlassung von H. MEYER für ein Femurmodell ermittelte.

Schon WARD (1838) hatte das coxale Femurende mit einem Kran verglichen und damit wohl als erster die technische Modellvorstellung und die Gesetze der Mechanik auf die Anatomie des menschlichen Bewegungsapparates angewandt. Der heuristische Wert dieser Betrachtungsweise wurde auch in neuerer Zeit für

die Probleme der funktionellen Anatomie genutzt (PAUWELS 1940, 1950, 1954; KUMMER 1959).

WOLFF (1892) versuchte aus den bis dahin bekannten Einzelbeobachtungen Gesetzmäßigkeiten abzuleiten. Berühmt geworden ist sein "Gesetz der Transformation": "Es ist demnach unter dem Gesetz der Transformation der Knochen dasjenige Gesetz zu verstehen, nach welchem im Gefolge primärer Abänderungen der Form und Inanspruchnahme, oder auch bloß der Inanspruchnahme der Knochen, bestimmte, nach mathematischen Regeln eintretende Umwandlungen der inneren Architektur und ebenso bestimmte denselben mathematischen Regeln folgende sekundäre Umwandlungen der äußeren Form der Knochen sich vollziehen".

ROUX (1881, 1894, 1895) hat als erster eine umfassende Theorie über die funktionelle Anpassung entwickelt. Nach ROUX erfolgt eine qualitative Anpassung im Sinne einer Gewebsdifferenzierung nach dem Prinzip der Selektion. Nur die der Beanspruchung angepaßten Gewebelemente bleiben erhalten, während die übrigen verschwinden. Daß ROUX mit diesem Gedanken auf LAMARCK und DARWIN zurückgreift, kommt auch im Titel seiner Schrift "Der züchtende Kampf der Theile oder die Theilauslese im Organismus, zugleich eine Theorie der funktionellen Anpassung" zum Ausdruck. Neben der qualitativen Anpassung gibt es nach ROUX eine quantitative funktionelle Anpassung. Durch vermehrte Betätigung nimmt die Größe eines Organs zu (Aktivitätshypertrophie), während mangelnde Betätigung zu einem Schwund des Organs führt (Inaktivitätsatrophie). Knochen werden durch die funktionelle Anpassung so gestaltet, daß mit einem Minimum an Material ein Maximum an Widerstandsleistung erzielt wird (Maximum-Minimum-Gesetz). Das Ergebnis der Anpassungsvorgänge ist die "funktionelle Gestalt" und die "funktionelle Struktur".

In den Abhandlungen über die funktionelle Anpassung wurde meist auf die Verhältnisse bei den Extremitätenknochen Bezug genommen. Kieferknochen wurden

dagegen nur vereinzelt erwähnt, obgleich schon VIRCHOW (1875) die Bedeutung der Mandibula als Studienobjekt für den Einfluß der Funktion betont hatte. Eine systematische Betrachtung des Kauapparates unter funktionellen Gesichtspunkten erfolgte relativ spät. Sie ist eng mit den Namen ZIELINSKY (1908), WINKLER (1922, 1923), BENNINGHOFF (1925), WETZEL und SCHRÖDER (1925), BLUNTSCHELI (1926, 1929) und WALKHOFF (1927) verbunden.

2. Funktion und Vererbung.

Die interindividuellen Unterschiede in der Skelettmorphologie sind – darin besteht weitgehende Übereinstimmung – mit der Wirkung eines einzigen Faktors nicht zu erklären. Neben den funktionellen Einflüssen wird das genetisch fixierte, individuelle Wachstumsmuster als ein weiterer determinierender Faktor angenommen. Die Standpunkte der Autoren unterscheiden sich nur dadurch, daß man die Gewichte unterschiedlich verteilt hat. So betonten MURRAY (1936), BRODIE (1948), KORKHAUS (1952, 1963) und andere mehr den Einfluß der Vererbung, während ROUX (1881, 1894), BENNINGHOFF (1925), HÄUPL (1938 – 1960), MOSS (1960, 1968, 1969) und andere der Funktion größeres Gewicht beimessen.

Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, zwischen der pränatalen Entwicklungsphase, in der die genetische Determinierung vorherrschen soll (siehe WEISS 1926), und der postnatalen, in der die Gestaltungsprozesse zunehmend unter den Einfluß der Funktion kommen, zu differenzieren. Von manchen Autoren wird auch daraufhingewiesen, daß bestimmte anatomische Gebilde ihre Entstehung oder ihrem Bestand ausschließlich der Funktion verdanken, während andere sich unabhängig von funktionellen Einflüssen entwickeln bzw. erhalten bleiben. Für den Bereich des Schädels, insbesondere der Kiefer, ist beides nachgewiesen.

3. Die Theorien der funktionellen Anpassung.

Unter funktioneller Anpassung versteht man seit ROUX (1894) "die Fähigkeit der meisten Organe, durch verstärkte Ausübung ihrer Funktion sich in höherem Maße an dieselbe anzupassen, wie umgekehrt auch durch längere Zeit hindurch dauernde geringere Ausübung der Funktion in ihrer Leistungsfähigkeit herabgesetzt zu werden". Funktion aber ist die stündliche und tägliche natürliche Arbeit, die ein Organ zur Erfüllung der Gesamtaufgabe des Organismus benötigt (REBEL 1957). Arbeit ist ein physikalischer Begriff und kann auf andere physikalische Größen, wie Kraft, Weg, Leistung, Zeit, zurückgeführt werden. Es war daher naheliegend, den auslösenden Reiz für die funktionelle Anpassung unter den physikalisch definierbaren Aspekten des funktionellen Geschehens zu suchen. Der Anpassungsvorgang selbst kann nur als Antwort des Gewebes, der Zellen und der Interzellulärsubstanz, auf den gegebenen Reiz verstanden werden.

In den bekannten Theorien der funktionellen Anpassung sind verschiedene Denkansätze verwirklicht. In einem ersten Ansatz wird davon ausgegangen, daß die lebende Zelle primär eine Wachstums- und Proliferationstendenz besitzt, die durch eine antagonistische Kraft gebremst wird. So besagt die HÜTER-VOLKMANN'sche Theorie (1862/1863), die auch von LESSHAFT (1882) vertreten wurde, daß abnorm gesteigerter Druck das Knochenwachstum hemmt, während verminderter Druck oder gar Zug dasselbe fördert. JORES (1920) hat aufgrund seiner experimentellen Befunde die HÜTER-VOLKMANN'sche Theorie etwas modifiziert. Nach JORES "stellt Druck auf das Knochengewebe einen physiologischen Reiz dar, der für die Dauer seines Bestehens das Wachstum des Knochens hemmt und die Resorption von Knochen und ihren Ersatz durch Bindegewebe veranlaßt, beim Nachlassen des Druckes aber eine Proliferation von Knochengewebe an den dem Druck ausgesetzten Stellen hervorruft; ein

Schwund von Knochengewebe maß dann eintreten, wenn der Druck konstant ist, oder die Perioden des Druckes gegenüber den druckfreien Perioden in ihrer Wirkung überwiegen; ein Knochenwachstum kommt dann zustande, wenn druckfreie Perioden in ihrer Wirkung überwiegen".

In einem zweiten theoretischen Ansatz wird ein Reiz angenommen, der generell oder in einem bestimmten Intensitätsbereich die Bildung neuen Gewebes bewirkt, und dessen Fortfall Gewebsabbau bedeutet. WOLFF (1892) und ZSCHOKKE (1892) sehen in der statischen Beanspruchung des Knochens, genauer gesagt in dem auf den Knochen ausgeübten Druck, den gewebebildenden Reiz gegeben. Bei WOLFF (1892) wird der Gegensatz zur HÜTER-VOLKMANN'schen Theorie besonders deutlich, wenn er feststellt, daß vermehrter Druck zu Knochenanbau, Druckentlastung dagegen zu Knochenabbau führt. Auch nach ROUX (1894) verursacht eine gesteigerte Belastung eine Vermehrung der Knochensubstanz, verminderte Belastung dagegen einen Substanzschwund. Die durch Druck und Zug bewirkten Erschütterungen und Spannungen sollen auf die Zellen einen trophischen Reiz ausüben, wodurch die Zellen wachsen, sich vermehren und im Fall der Osteoblasten vermehrt Knochen bilden. Bei Inaktivität würden diese Reize fehlen, dadurch sei der Zellstoffwechsel herabgesetzt und die Knochenresorption begünstigt. Die ROUX'sche Erschütterungstheorie wurde von HÄUPL (1938 - 1960) wieder aufgegriffen und dahingehend eingeengt, daß ausschließlich molekulare Erschütterungen muskulärer Genese als knochenbildender Reiz zu gelten haben. HÄUPL stützte sich dabei auf die Ergebnisse der Experimente von HÄUPL und PSANSKY (1938, 1939) und von ESCHLER und HÄUPL (1940), die REITAN (1951) aufgrund seiner experimentellen Befunde widerlegen zu können glaubt.

Eine gewisse Sonderstellung nehmen die beiden folgenden Theorien ein, weil hier ein und derselbe Reiz je nach Intensität konträre Wirkungen haben soll. Nach THOMA (zitiert bei HOWELL 1917) bewirken Zug und Druck, sofern sie

eine untere Intensitätsschwelle überschreiten, Knochenbildung. Wenn eine obere Intensitätsgrenze überschritten wird, kommt es dagegen zur Knochenresorption. Auch WEINMANN und SICHER (1947) sehen sowohl im Druck wie auch im Zug innerhalb gewisser Toleranzgrenzen einen Knochenbildungsreiz. Knochenresorption tritt nach Auffassung der Autoren ein, wenn sehr starke Kräfte wirken, oder wenn Druck an Stellen einwirkt, die normalerweise unter Zug stehen, und umgekehrt, oder wenn die Kraft in einer Richtung wirkt, die von der normalen abweicht.

Es wurden auch Theorien konzipiert, nach denen die Regulation durch zwei antagonistisch wirkende, spezifische Reize erfolgen soll. So wird nach FLOURENS (1847) durch Zug eine Knochenapposition, durch Druck dagegen Knochenresorption ausgelöst. In neuerer Zeit haben EPKER und FROST (1965, 1966) nach einer anderen biomechanischen Eigenschaft des Knochens gesucht, mit der die Anpassungsvorgänge besser erklärt werden können. Sie fanden, daß nicht Zug und Druck mit der beobachteten Gewebsreaktion korrelieren, sondern die unter einer Belastung eintretende Änderung der Oberflächenkrümmung des Knochens. Eine Oberfläche die gewöhnlich unter einer Last mehr konkav oder weniger konvex wird, ist eine Seite des Knochenanbaus; eine Oberfläche die gewöhnlich mehr konvex oder weniger konkav wird, ist die Seite des Knochenabbaus. Die Autoren nehmen ein negatives feedback-System an, durch dessen regelnde Wirkung ein Knochen eben so dick wird, daß die unter Belastung eintretende Biegung unter ein Minimum gedrückt wird. Zur Knochenapposition bzw. -resorption soll es durch das Auftreten elektrischer Potentiale kommen, die BASSETT und BECKER (1962) sowie BECKER, BASSETT und BACHMANN (1964) bei der Durchbiegung von Knochen an konkaven und konvexen Knochenoberflächen nachgewiesen haben. Diese Annahme befindet sich in guter Übereinstimmung mit den Befunden von KLAPPER und HENRIQUES (1970), die nach Implantation kleiner Batterien unter das Periost des Schädeldaches von Ratten an

der negativen Platinelektrode rasche Knochenbildung beobachteten.

In diesem Zusammenhang ist kurz auf Theorien der Histogenese einzugehen, die nicht mit unmittelbarem Bezug auf die funktionelle Anpassung entwickelt wurden, für diese aber Erklärungswert besitzen könnten. Daß mechanische Reize für die Entstehung und Strukturierung der Stützgewebe verantwortlich sind, ist sowohl durch invitro-Versuche belegt (WEISS 1929, GLUCKSMANN 1942 und andere), wie auch in vivo klinisch und experimentell mit ausreichender Sicherheit nachgewiesen (KROMPECHER 1935 - 1966; PAUWELS 1940, 1960; ALTMANN 1949, 1950; GRAUMANN 1951 und andere). Ein Punkt erscheint besonders beachtenswert, die Behauptung nämlich, daß es für die Knochenbildung keinen spezifischen mechanischen Reiz gibt. Schon FICK (1857) hatte die These aufgestellt, daß sich Knochen nur an Orten absoluter Ruhe bildet. Nach PAUWELS (1960) bildet sich Knochen dort, wo Zellen durch ein feststehendes Gerüst, ein sogenanntes "Lehrgerüst" oder "Leitgerüst" vor mechanischer Beanspruchung geschützt werden. Bei der chondralen Osteogenese wird das Gerüst durch die Bälkchen aus verkalkter Grundsubstanz, bei der desmalen Knochenbildung durch ein festverspanntes Kollagenmaschenwerk gebildet. Diese Bedingungen gelten jedoch nach GRAUMANN (1951) nur für den unmittelbaren Vorgang der Knochenbildung, also die Differenzierung der Fibrozyten zu Osteoblasten. In der Vorbereitungsphase dagegen werde das kollagenfaserige Bindegewebe durch Zug- und Scherwirkungen aufgespreizt und aufgelockert.

Bei zusammenfassender Betrachtung der Theorien der funktionellen Anpassung fallen die darin enthaltenen Widersprüche und Gegensätzlichkeiten auf. Dabei muß betont werden, daß alle Theorien sich auf konkrete Beobachtungen stützen können und insofern Teilwahrheiten enthalten. Keine Theorie aber kann alle Phänomene erklären. Offensichtlich können die komplizierten Verhältnisse nicht durch eine einzige Formel ausgedrückt werden.

II. Funktionelle Anpassung im Kausystem.

1. Das "Kausystem".

Unter dem Begriff Kausystem versteht man nach ESCHLER (1963) ein Wirkungsgefüge, in dem die einander zugeordneten Elemente dem Kauvorgang dienen. Zu den anatomischen Gliedern dieses Systems zählen die Kiefer, die Kiefergelenke, Zähne und Parodontien, die Kaumuskeln, Zungen-, Lippen- und Wangenmuskeln, der Bandapparat, Speicheldrüsen, sowie die zugehörigen Nerven und Gefäße. Man darf annehmen, daß eine Änderung an einem Glied einen komplizierten Anpassungsvorgang auslöst, an dem mehrere Glieder des Systems beteiligt sind. Wenn im folgenden von der funktionellen Anpassung im Kausystem die Rede ist, beziehen wir uns im wesentlichen auf die Manifestationen am knöchernen Anteil des Systems.

2. Die kaufunktionelle Belastung.

Kauen ist notwendig mit der Ausübung von Kraft verbunden. Die Belastung der Gewebe ist somit ein wesentlicher Aspekt der Kaufunktion. Die von den Kaumuskeln erzeugten Kräfte greifen im Bereich der Insertionsstellen an den Kiefer- und Schädelknochen an. Ein wichtiger Punkt der Kraftübertragung sind die Zahnreihen, die beim Kauakt entsprechend dem Widerstand der zu zerkleinernden Nahrung belastet werden. Die auf die Zähne ausgeübten Druckkräfte werden über die elastischen Fasern des parodontalen Aufhängeapparates auf die Knochenlamellen der Alveolen als Zugkräfte übertragen. Im Innern des Alveolarknochens treten, wie SCHREIBER, MOTSCH und GRÖNEWALD (1970) im spannungsoptischen Modellversuch zeigen konnten, parallel zur Wurzeloberfläche verlaufende Druckspannungen auf. Im Unterkieferkörper setzen sich

die Belastungskräfte hauptsächlich in randparallelen Zug- und Drucklinien fort (MOTSCH 1968). Vom Oberkiefer aus werden Kräfte auf ein Stützpfilersystem des Schädels übertragen.

Eine lebhafte Diskussion hat sich an der Frage entzündet, ob auch die Kiefergelenke beim Kauvorgang belastet werden. GYSI (1921), WINKLER (1922, 1923) und ROYDHOUSE (1955) kamen auf Grund theoretischer Überlegungen zu der Auffassung, daß eine Belastung der Kiefergelenke erfolgt. Mit unterschiedlicher Begründung sprachen sich dagegen WILSON (1920), STEINHARDT (1934, 1939), SEWARD (1938), ROBINSON (1946), NENNINGER (1961) und WEBER-THEDY (1962) für das kaukraftfreie Kiefergelenk aus. In einer experimentellen Untersuchung hat FINDLAY (1964) im Kiefergelenk einen positiven Gewebedruck beim Schließen der Kiefer registriert.

3. Möglichkeiten der experimentellen Belastungsvariation.

Durch die experimentelle Variation der Belastungsverhältnisse eröffnet sich ein Weg, die funktionelle Anpassung zu studieren. Die Möglichkeiten, die Belastung im Kausystem zu verändern, sollen an einem einfachen Modell erläutert werden. Wenn auf einem vierbeinigen, rechteckigen Tisch Gewichte zu beiden Seiten der Längsachse gleichmäßig verteilt sind, werden die Tischbeine seitengleich belastet. Eine Änderung der Belastungsverteilung tritt ein, wenn an einem Tischbein ein Keil unterlegt wird, oder wenn man ein Tischbein kürzt. Die Belastung der Tischbeine läßt sich auch dadurch variieren, daß man die Gewichtsverteilung auf der Tischplatte ändert, etwa indem man von einer Seite Gewichte fortnimmt.

Auf das Kausystem übertragen heißt das, daß die Belastung einer Kieferseite sich ändert, wenn man einen interokklusalen Aufbißkörper im Seitenzahnbereich einsetzt, wenn man einseitig Zähne oder Zahnkronen entfernt, wenn man die

Abstützung in Kiefergelenksbereich beseitigt oder erhöht, und wenn man schließlich durch einen Eingriff an der Kaumuskulatur die Kaukraft verändert.

B. EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE FUNKTIONELLE ANPASSUNG IM KAUSYSTEM- LITERATURÜBERBLICK

1. Interokklusale Aufbißkörper.

Zahlreiche Untersuchungen galten der Frage, wie sich eine Überbelastung von Zähnen, ein sogenanntes "okklusales Trauma" auf den Zahnhalteapparat und den umgebenden Knochen auswirkt (GOTTLIEB und ORBAN 1931; VASILEVSKAJA 1954; BHASKAR und ORBAN 1955; ORBAN 1958; WENTZ, JARABAK und ORBAN 1958; MÜHLEMANN und HERZOG 1961; ITOIZ, CARRANZA und CABRINI 1963; DOTTO, CARRANZA und ITOIZ 1966; WAERHAUG und HANSEN 1966 und SKINAZI 1967). Meist waren die Versuche so konzipiert, daß einzelne Zähne nach Versorgung mit einer bißsperrenden Krone oder einem Onlay die gesamte Kaulast zu tragen hatten, bis durch Umbauvorgänge eine Nivellierung der Zahnreihe eingetreten war. Übereinstimmend wurden auf Grund dieser Maßnahmen eine Erweiterung des Parodontalspaltes, Zahnlockerung, Thrombosierung der Gefäße, Nekrose der Wurzelhaut, Zement- und Dentinresorptionen und Knochenabbau an den Alveolenwänden beobachtet. Die Veränderungen führten zu einem Versenken der überlasteten Zähne in den Alveolarknochen. Wenn die Beobachtungen einen größeren Zeitraum umfaßten, wurde durchwegs eine weitgehende RepARATION der Gewebe festgestellt.

Die gleichzeitige Überbelastung mehrerer Zähne führte zu ähnlichen Veränderungen

(GLICKMAN und WEISS 1955). Der Ausgleich scheint dabei jedoch mehr durch Höhenzunahme der entlasteten Zähne zu erfolgen (HOFFER und Mitarbeiter 1966). Über ausgedehntere Anpassungsveränderungen nach Einsetzen einer Aufbißschiene im Frontzahn- bzw. Seitenzahnbereich bei Affen berichtete BREITNER (1940, 1941, 1942). Der Autor fand eine Depression der belasteten und eine Verlängerung der entlasteten Zähne, eine Knochenapposition am Kondylus und am Hinterrand des aufsteigenden Astes und eine Knochenresorption an der Vorderseite des Gelenkhalses, am Unterrand der Mandibula und am Kieferwinkel.

Aus den Angaben über Gelenkveränderungen nach Einsetzen interokklusaler Aufbißkörper ist kein einheitliches Bild zu gewinnen. Einerseits wurden nach einer angenommenen Gelenksbelastung unter anderem eine Verdickung und Wucherung der Knorpelschicht festgestellt (HOFFER und Mitarbeiter 1966), andererseits sollen unter ähnlichen Bedingungen Abflachung und Schwund der Knorpelzellen beobachtet worden sein (TRAGE 1970).

2. Entfernung von Zähnen oder Zahnkronen

Auch die Anpassungsvorgänge nach Entfernung einer "Stützzone" im Bereich der Zahnreihen wurden untersucht. Soweit zu diesem Zweck Zahnkeime entfernt wurden (LANDSBERGER 1911, 1924; SCHMIDHUBER 1930; ROSEN, BUTCHER und SILVERMAN 1965), war die Deutung der beobachteten Veränderungen schwierig, weil das Ergebnis einerseits durch die verminderte funktionelle Belastung andererseits aber durch den Ausfall einer wachstumsfördernden Wirkung der Zahnentwicklung bedingt sein konnte. Die Frage, ob die Entfernung von Zähnen oder das Abschleifen der Zahnkronen Auswirkungen auf das Längenwachstum der Kiefer hat, ist auf Grund der bekannten Untersuchungen nicht eindeutig zu beantworten. Während man nach den Ergebnissen von BAKER (1922) und ADLER (1952) eine Hemmung des Längenwachstums an-

nehmen könnte, sprechen die Befunde von SCHUMACHER und REHMER (1964), SCHUMACHER (1968) und NIKITJUK (1968) dagegen. Übereinstimmend wurden dagegen lokale Wachstumshemmungen im Bereich der betroffenen Alveolarfortsätze gefunden. Unterschiedliche Beobachtungen wurden an den nicht in Okklusion stehenden Antagonisten gemacht. So berichtete BAKER (1922), daß diese Zähne mit dem Alveolarfortsatz verlängert sind, während ANDERSON und Mitarbeiter (1936) zu dem Ergebnis kamen, daß sich der Alveolarknochen bei den Antagonisten weniger weit nach okklusal erstreckt, eine dünnere äußere Kompakta und größere Markräume aufweist. Der Parodontalspalt soll bei diesen entlasteten Zähnen verschmälert sein (PREISSECKER 1931).

Die Verminderung der Kaubelastung führt sowohl bei den ständig nachwachsenden Zähnen (SCHOUR und MEDAK 1951; TAYLOR und BUTCHER 1951; HERRMANN 1953; NESS 1965 und andere), als auch bei den Zähnen mit begrenztem Wachstum (CIMASONI und BECKS 1963; SCHNEIDER und MEYER 1965) zu einer erheblich gesteigerten Zahndurchbruchrate (unter Durchbruch oder Eruption wird die gesamte physiologische Zahnbewegung nach okklusal verstanden). Daß diese Feststellung nicht nur für das Wachstumsalter gilt, konnten ULLMAN, MEYER und SCHNEIDER (1969) an den Molaren ausgewachsener Ratten zeigen. Im Bereich der Alveoleninnenwände fanden sie nach experimenteller Entlastung der Zähne eine wesentliche Steigerung der Knochenapposition, die normalerweise in diesem Alter fast zum Stillstand gekommen ist.

Bei BAKER (1922) und NIKITJUK (1968) findet sich der Hinweis, daß der Gelenkkopf auf der Seite mit fehlender Abstützung durch die Seitenzähne verkleinert ist. Die histologischen Veränderungen am Gelenk wurden von AVANT, AVERILL und HAHN (1952), CIMASONI (1963), FURSTMAN

(1965) und EHRLICHER (1968) im Tierexperiment untersucht. Übereinstimmend wurde eine Verringerung des Kondylenknorpels festgestellt. Die übrigen Befunde sind widersprüchlich.

3. Kondylektomie

Nach einer operativen Entfernung des Gelenkköpfchens im Tierversuch fanden SCHMIDHUBER (1930), SARNAT (1957) sowie GIANELLY und MOORREES (1965) eine generelle Wachstumshemmung des Unterkiefers, die sie auf den Ausfall des Wachstumszentrums im Kiefergelenk zurückführten. Nach SARNAT und ENGEL (1951) soll die Wachstumshemmung im wesentlichen nur den aufsteigenden Kieferast betreffen. Kein Wachstumsdefizit am Unterkieferkörper konnten dagegen JARABAK und THOMPSON (1951), JARABAK und STUTEVILLE (1952) sowie DAS, MEYER und SICHER (1965) nach einer Kondylektomie feststellen.

Als funktionelle Anpassung ist die Tatsache zu werten, daß der Kondylus teilweise regeneriert (SARNAT und ENGEL 1951; JARABAK 1950, 1951; JARABAK und KAMINS 1952; JARABAK und VEHE 1952 und KANTACK 1966), und daß sich die Gelenkgrube durch Knochenapposition auffüllt (JARABAK und STUTEVILLE 1952, HAYES 1961). Auch die von den meisten Autoren registrierte Verminderung der Höhe des Unterkieferkörpers, das Hervortreten des Kieferwinkels und die vertiefte präanguläre Einziehung sind in diesem Sinne zu verstehen. Nach einer beidseitigen Kondylektomie kommt es zum frontal offenen Biß (JARABAK und STUTEVILLE 1952). Schließlich wurde auch eine Veränderung der Knochenstruktur des Unterkiefers nach Kondylektomie beobachtet (HERZBERG und SARNAT 1962).

4. Kaumuskelresektion

Die Berichte über experimentelle Kaumuskelresektionen sind zahlreich. Eine partielle oder totale Entfernung des M. masseter führten FICK (1857), SCHREIBER (1938/39), PRATT (1943), HOROWITZ und SHAPIRO (1955) und SCHUMACHER (1964, 1968) durch. Angaben über die Auswirkungen einer Temporalisresektion finden sich bei FICK (1857), LESSHAFT (1882), ANTHONY (1903), ANTHONY und PIETKIEWICZ (1909), WASHBURN (1947), HOROWITZ und SHAPIRO (1951) und AVIS (1959). Über die Ergebnisse einer gleichzeitigen Entfernung verschiedener Kaumuskeln berichteten RUMMEL (1928), DOKLADAL (1964), SCHUMACHER (1964, 1968) und NIKITJUK (1968). Die Eingriffe wurden an verschiedenen Tiergattungen ein- oder beidseitig durchgeführt.

Die Ergebnisse sind sehr unterschiedlich und vielgestaltig. Übereinstimmung besteht in der Beobachtung lokaler Veränderungen im Bereich der Muskelansatzstellen. Das Wachstum bleibt in diesem Bereich hinter der Norm zurück, die Oberfläche ist höckerig und unregelmäßig. Dabei sind die räumlich begrenzten Muskelansatzstellen am Unterkiefer wesentlich mehr betroffen, als die ausgedehnten Flächen des Muskelursprungs an den Schädelknochen. Daß für den lokalen Wachstumsausfall nicht die fehlende Muskelspannung verantwortlich sein muß, geht aus einem Versuchsergebnis von BOYD, CASTELLI und HUELKE (1967) hervor. Die Autoren haben bei Meeresschweinchen den M. temporalis einseitig von seinem Ursprung abgelöst und aufgerollt. Damit war für den Processus coronoideus die Blutversorgung erhalten, aber die Muskelspannung beseitigt. Der Muskelfortsatz zeigte bei diesem Versuch keine Größen- oder Formveränderungen.

Eine Reihe von Autoren berichtet über eine Hemmung des Unterkieferlängenwachstums, die von anderen bestritten wird. Schädelasymmetrien wurden nach

Kaumuskelresektionen wiederholt beobachtet, allerdings gehen die Angaben über die Richtung der Krümmung auseinander. Vereinzelt wurden Veränderungen in der Form und Struktur der Mandibula, insbesondere des Kondylus, eine Verschmälerung des aufsteigenden Astes und eine Verminderung der Höhenmaße des Kieferkörpers erwähnt. Zu der letzten Angabe stehen Beobachtungen im Widerspruch, nach denen auf der operierten, "mechanisch entlasteten" Seite die Molarenreihen höher stehen und die oberflächliche Knochenapposition in der Nähe des Alveolarrandes verstärkt ist.

Für die Deutung von Anpassungsveränderungen an den Kieferknochen erscheint der von SCHUMACHER (1968) mitgeteilte Befund wichtig, daß nach Resektion einzelner Kaumuskeln andere Kaumuskeln durch Mehrbeanspruchung hypertrophieren.

5. Muskeltransposition

Eine Änderung der funktionellen Abläufe läßt sich auch durch eine Muskelverpflanzung erreichen. NANDA, MEROW und SASSOUNI (1967) haben bei jungen Hunden den M. masseter am Kieferwinkel einseitig abgelöst und weiter vorne am Periost fixiert. Dabei ergaben sich nur lokale Veränderungen. Der Kieferwinkelfortsatz war verkleinert, die präanguläre Einziehung abgeflacht und die Höhe des aufsteigenden Astes verringert.

6. Nervendurchtrennung

Die Kaufunktion ist auch durch eine Muskellähmung zu beeinflussen. So hat ROGERS (1955) nach einseitiger intrakranieller Durchtrennung des dritten Trigeminusastes bei Affen eine Verkleinerung des Gelenkkopfes und eine merkliche Veränderung an den Muskelansätzen auf der gelähmten

Seite festgestellt. Die Kaumuskeln der gesunden Seite waren hypertrophiert.

7. Variation der Nahrungsmittelkonsistenz

Die Gesamtbeanspruchung des Kauapparates variiert mit der Konsistenz des Futters. WATT und WILLIAMS (1951) haben von alten und jungen Ratten jeweils die eine Hälfte mit hartem Standardfutter, die andere mit weichem Futter gleicher Zusammensetzung gefüttert. Bei harter Kost war die Mandibula größer, schwerer und in der Gegend des 1. Molaren dicker. Die Abrasion der Zähne war stärker. Für die Weite des Oberkiefers ergab sich nur bei den jungen Tieren ein überzufälliger Unterschied. Die Knochendichte war in beiden Gruppen gleich. Bei Wiederholung des Versuches kamen BARBER, GREEN und COX (1963) zu einem ähnlichen Ergebnis, führten dies jedoch auf Unterschiede im Ernährungszustand der beiden Versuchsgruppen zurück. WHITELEY, KENDRICK und MATTHEWS (1966) fanden in einem ähnlichen Experiment nur Abweichungen im Bereich der Kaumuskelanätze.

C. Eigene tierexperimentelle Untersuchungen

1. Fragestellung und Versuchsplan

Die Widersprüchlichkeit der in der Literatur mitgeteilten Ergebnisse ist zum Teil darauf zurückzuführen, daß die Versuche nicht unbedingt vergleichbar sind. In unserer Untersuchung sollten daher verschiedene Eingriffe, durch die die kaufunktionelle Belastung verändert wird, an Tieren

derselben Gattung vorgenommen werden. Die Tiere sollten sich im Wachstumsalter befinden, weil erfahrungsgemäß in dieser Periode lebhafte Anpassungsvorgänge zu erwarten sind. Um auch Aussagen über den Einfluß des Alters machen zu können, planten wir, wenigstens in einer Versuchsgruppe auch ausgewachsene Versuchstiere heranzuziehen. Untersucht werden sollten die morphologischen Veränderungen, durch die im Sinne der funktionellen Anpassung über einen längeren Zeitraum hinweg das gestörte Gleichgewicht wiederhergestellt wird. Durch die Untersuchung sollten nach Möglichkeit folgende Fragen beantwortet werden:

1. Wo findet bei jungen Tieren nach Veränderung der kaufunktionellen Belastung eine Anpassung statt?
2. Unterscheiden sich die Anpassungsmuster von jungen und alten Tieren?
3. Welche Mechanismen sind am Anpassungsvorgang beteiligt - inwieweit lassen sich allgemeine Gesetzmäßigkeiten ableiten?

Unser Versuchsplan sah folgende Versuchsgruppen und Maßnahmen vor:

- I. Gruppe: Aufbißschienen auf die rechten Seitenzähne des Unterkiefers (8 junge Tiere)
- II. Gruppe: Aufbißschienen auf die rechten Seitenzähne des Unterkiefers (6 ausgewachsene Tiere)
- III. Gruppe: wiederholtes Abschleifen der Zahnkronen der rechten Seitenzähne im Oberkiefer und Unterkiefer (8 junge Tiere)
- IV. Gruppe: Kondylektomie auf der rechten Seite (8 junge Tiere)

- V. Gruppe: Implantation eines Kunststoffkeils in den Gelenkspalt des rechten Kiefergelenkes (8 junge Tiere)
- VI. Gruppe: Transposition des Muskelansatzes des rechten M.masseter und M.pterygoideus medialis (8 junge Tiere)
- VII. Gruppe: operative Verkürzung des rechten M.masseter und M.pterygoideus medialis (9 junge Tiere)
- VIII. Gruppe: gleichaltrige Kontrolltiere (8 junge Tiere)

II. Material

1.) Allgemeine Bemerkungen zum Kauapparat des Hauskaninchens (Oryctolagus cuniculus)

Zum Verständnis der funktionellen Anpassung sind Kenntnisse über die Anatomie, das Wachstum und die Physiologie des Kauapparates der betreffenden Tiergattung erforderlich.

Das Hauskaninchen zählt zu den Lagomorphen. SCHUMACHER und REHMER (1964) geben dafür die Zahnformel $J \frac{2}{1} \quad C \frac{0}{0} \quad P \frac{3}{2} \quad M \frac{3}{3}$ an.

Da Prämolaren und Molaren morphologisch nicht zu unterscheiden sind, wird aber meist die Formel $J \frac{2}{1} \quad C \frac{0}{0} \quad M \frac{6}{5}$ genannt. Zwischen den mit ihren Wurzeln mehr horizontal ausgerichteten Inzisivi, die als Nagezähne dienen, und den senkrecht stehenden Seitenzähnen befindet sich eine Lücke, die je nach Größe des Tieres 20 - 30 mm mißt. Palatinal von den oberen Nagezähnen stehen zwei kleine Inzisivi, weshalb die Lagomorphen auch Duplizidentata bezeichnet werden. Im Unterkiefer durchsetzen die Wurzeln der Seitenzähne fast den gesamten Unterkieferkörper. Im Oberkiefer ragen

die Alveolen der Seitenzähne zum Teil mit ausgeprägten Vorwölbungen in die Orbita. Sowohl die Nagezähne, als auch die Molaren haben ein weit offenes foramen apicale und wachsen der Abnutzung entsprechend ständig nach. Die physiologische Zuwachsrates liegt bei 2 mm wöchentlich. Unter den Kaumuskeln nimmt der *M. masseter* eine überragende Stellung ein. Trockengewicht und physiologischer Querschnitt des Masseters sind nach Untersuchungen von SCHUMACHER und REHMER (1960) von allen Kaumuskeln am größten. Es folgen die Werte, die für den *M. pterygoideus medialis* errechnet wurden. Diesen Größenverhältnissen entspricht eine breite Ansatzfläche der beiden Muskeln am stark ausladenden *Processus angularis mandibulae*. Der *Processus coronoideus* ist dagegen entsprechend der untergeordneten Bedeutung des *M. temporalis* nur angedeutet. Der Unterkieferkondylus hat birnenförmige Gestalt, seine Längsachse ist sagittal ausgerichtet. Der Kondylus gleitet unter Zwischenschaltung eines *Discus articularis* in einer Rinne, die vom *Processus zygomaticus* des *os temporale* gebildet wird.

Das Wachstumsmuster der Kaninchenkiefer ist jenem vergleichbar, das wir von den Kieferknochen des menschlichen Schädels kennen. Eine Ausnahme bildet die Vorderkante des aufsteigenden Unterkieferastes. Im Gegensatz zu den Verhältnissen beim Menschen findet hier ein geringer Knochenanbau und keine Resorption statt. Der Unterkieferkörper wächst statt dessen durch Knochenanbau am rostralen Ende. Die Seitenzähne des Unterkiefers verlängern sich nicht nur in Durchbruchsrichtung, sondern auch in den Unterkieferkörper hinein, indem sie den darunter befindlichen Knochen resorbieren. Am Unterkieferrand wird dafür neuer Knochen angebaut.

Beim Nagen wird der Unterkiefer in sagittaler Richtung verschoben, wobei sich die Seitenzähne infolge des steilen Schneidezahnüberbisses außer Okklusion befinden. Beim Kauen dagegen findet ausschließlich eine Bewegung in transversaler Richtung statt. Diesem Mechanismus entsprechen die ausgeprägten Querrillen auf den Kauflächen der Seitenzähne. Da der Oberkiefer wesentlich breiter ist als der Unterkiefer, ergeben sich bei zentraler Relation der Kiefer zwischen oberen und unteren Zahnreihen nur geringe Berührungsflächen. Erst durch die Transversalverschiebung wird ein voller antagonistischer Kontakt auf der betreffenden Kauseite erzielt. Auf der Gegenseite findet in dieser Phase keine Berührung statt. Mechanisch betrachtet ist der Unterkiefer des Kaninchens, wie SCHUMACHER und REHMER (1960) aus Querschnitt und Zugrichtung der Kaumuskeln errechneten, ein zweiarziger Hebel, dessen Drehpunkt am vorderen Ende des Kiefergelenkköpfchens liegt.

2.) Versuchstiere

Als Versuchstiere dienten Kaninchen, die zu Beginn der Experimente 10 - 15 Wochen alt waren, und ausgewachsene Kaninchen, die älter als 1 Jahr waren oder bei unbekanntem Alter mindestens 4000 g wogen und über längere Zeit Gewichtskonstanz erkennen ließen.

Die Gesamtzahl der zur Auswertung herangezogenen Kaninchenschädel beträgt 63. Um in jeder Versuchsgruppe auf die vorgesehene Anzahl von Schädeln zu kommen und die eingetretenen Verluste auszugleichen, mußten insgesamt 101 Kaninchen angekauft werden. Die Tiere wurden in Einzelkäfigen gehalten und mit Altromin^R Trockenfutter und Wasser ad libitum gefüttert.

III. Methodik

1.) Narkose und Anästhesie

Alle Eingriffe wurden in Narkose durchgeführt. Wir injizierten Nembutal^R - Lösung in einer Dosierung von 0,8 - 1,0 ml pro Kilogramm Körpergewicht intraperitoneal. Da wir mit dieser Methode eine Reihe von Narkosezwischenfällen hatten, gingen wir später dazu über, Nembutal niedriger zu dosieren und, wenn nötig, zusätzlich Äther zu geben.

Bei operativen Eingriffen wurde außerdem das Operationsgebiet, das vorher enthaart und mit Dibromol abgerieben worden war, mit Hostacain-Arterenol infiltriert. Damit wurde Schmerzfreiheit auch bei geringerer Narkosetiefe gewährleistet und zugleich ein anämischer Effekt erzielt.

2.) Herstellung und Einsetzen der Aufbißschienen

Von der rechten unteren Seitenzahnreihe wurde mit einem geeigneten, von uns hergestellten Abdrucklöffel (Abb. 1) in Narkose Abdruck genommen. Als Abdruckmasse wurde Lastic - 55 verwendet. Zur Erleichterung aller Arbeiten, die im Mund ausgeführt wurden, verwendeten wir zwei für diesen Zweck konstruierte Hilfsgeräte, einen Spatel zum gleichzeitigen Sperren der Kiefer und Abhalten der Zunge und eine Spreize aus elastischem Stahldraht zum Abhalten der Lippen und Wangen (Abb. 2). Der Abdruck wurde mit Hartgips ausgegossen. Auf dem Gipsmodell wurden die Aufbißschienen modelliert und in einer Silberlegierung (Silka) gegossen (Abb. 3). In Narkose haben wir dann die Schienen mit Phosphatzement auf den Unterkieferseitenzähnen befestigt (Abb. 3).

Die Dicke der interokklusalen Zwischenlage betrug ca. 3 mm, was einer Bißsperrung im Frontzahnbereich von 5 - 7 mm entsprach.

3.) Abschleifen der Zahnkronen

In Narkose wurden jeweils die Kronen der rechten Seitenzähne im Ober- und Unterkiefer, bei zwei Versuchstieren auch die Kronen der Schneidezähne, bis zum Zahnfleischrand abgeschliffen (Abb. 4). Für die Arbeiten haben wir eine Bohrmaschine und einen rotierenden Diamant-Schleifkörper verwendet. Die Abschleifmaßnahmen wurden bis zum Versuchsende insgesamt 5 mal in Abständen von 14 Tagen durchgeführt. In dieser Zeitspanne waren die Zähne jeweils weitgehend nachgewachsen.

4.) Operationsmethoden

a) Kondylektomie

Über dem rechten Jochbogen wird ein 2,5 cm langer horizontal verlaufender Schnitt angelegt (Abb. 5). Nach Resektion des kaudalen Fortsatzes des Arcus zygomaticus wird das Kiefergelenk dargestellt. Das Gelenkköpfchen wird mit einer Lindemann-Fräse am Gelenkhals abgetrennt (Abb. 6) und entfernt. Nach Glättung der Knochenränder wird die Wunde mit Schichtnaht verschlossen.

b) Implantation eines Kunststoffkeils in den Gelenkspalt

Das rechte Kiefergelenk wird, wie beschrieben, dargestellt. Ein vorbereiteter Kunststoffkeil wird nach Eröffnung der Gelenkkapsel eingeschoben (Abb. 7). Dabei werden intra operationem noch Korrekturen

vorgenommen. Der Unterkiefer wird durch diese Maßnahme auf der rechten Seite nach unten gedrückt. Die Wunde wird durch Schichtnaht verschlossen.

c) Muskeltransposition

Im Bereich des rechten Kieferwinkels wird am Unterkieferrand ein 4 cm langer Schnitt angelegt (Abb. 8). Nach Darstellung des M. masseter und des M. pterygoideus medialis werden die Muskeln von ihren Ansatzstellen am Kieferwinkelfortsatz scharf abgelöst. 2 cm vom Rand des Kieferwinkels entfernt wird der Knochen an zwei Stellen durchbohrt (Abb. 8). Mit Rückstichnähten, die durch die Bohrlöcher geführt werden, werden die freien Ränder der beiden Kaumuskeln in dieser Position gegeneinander fixiert. Es bleibt ein ca. 1 cm breiter Knochenrand, der nicht mehr von Muskel bedeckt ist (Abb. 8).

Die Wunde wird durch Schichtnaht verschlossen.

Bei der Hälfte der Versuchstiere dieser Gruppe wird auf der linken Seite eine Kontrolloperation durchgeführt. Hier werden die beiden Kaumuskeln nach der Ablösung in ihre ursprüngliche Lage zurückgebracht und durch Nähte fixiert.

d) Muskelkürzung

Der M. masseter und der M. pterygoideus medialis werden, wie beschrieben, dargestellt und von ihren Ansatzstellen abgelöst. Die Muskelränder werden mit der Schere um ca. 1 cm gekürzt (Abb. 9) und über dem Kieferrand mit tiefen Catgut-Nähten wieder vereinigt. Die Wunde wird durch Schichtnaht verschlossen. Bei 5 Tieren dieser Gruppe wird auf der linken Seite eine Kontrolloperation durchgeführt.

5.) Vitalmarkierung

Zu Beginn des Versuches, sowie 3 Wochen und 6 Wochen später haben wir Markierungsfarbstoffe intraperitonealinjiziert. Verwendet wurden Alizarin-Rot-S (4 %ige Lösung in 0,45 % Kochsalzlösung) und Trypan-Blau (3 %ige Lösung in 0,45 % Kochsalzlösung). Als Dosierung wurde für beide Substanzen 100 mg pro Kilogramm Körpergewicht gewählt. Es zeigte sich, daß Alizarin in dieser gegenüber Literaturangaben bereits reduzierten Dosierung noch relativ toxisch wirkt. Ein Teil unserer Versute an Versuchstieren stand mit der Injektion von Alizarin im Zusammenhang. Eine weitere Verringerung der Dosis ließ jedoch keine erkennbaren Markierungslinien mehr erwarten.

6.) Verlauf der Experimente

Nach dem Einsetzen der Aufbißschienen gewöhnten sich die jungen Tiere ziemlich rasch an den neuen Zustand. Ein anfänglicher leichter Gewichtsverlust wurde rasch aufgeholt. Die durchschnittliche Gewichtszunahme über die ganze Versuchsdauer entsprach derjenigen der Kontrolltiere (Tab. I).

Bei den ausgewachsenen Tieren stellten wir nach Einsetzen der Aufbißschienen Gewichtsverluste bis zu 1 Kg fest. Die Tiere verweigerten wesentlich länger die Nahrung. Sie waren in den ersten Wochen nur durch Fütterung weicher Nahrung, teilweise gewaltsam verabreicht, am Leben zu halten. In dieser Gruppe hatten wir die höchste Ausfallquote von 50 %.

Bei einigen Versuchstieren lösten sich die Aufbißschienen vor Beendigung des Versuches. Bei anderen stellten wir nach der Tötung fest, daß die

Tiere nicht auf die Schienen gebissen hatten. Vielmehr waren hier die Seitenzähne aneinander vorbeigewachsen. Diese Fälle wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt. In 3 Fällen haben wir die Entwicklung des Vorbeigleitens der rechten Seitenzahnreihen frühzeitig erkannt. In diesen Fällen haben wir die Kaufläche der Aufbißschiene nach Einschleifen von Retentionen in den Metallkörper mit selbsthärtendem Kunststoff erweitert. Durch diese Maßnahme war die Einhaltung der Versuchsbedingungen im weiteren Verlauf gewährleistet.

Auch nach jedem Abschleifen der Seitenzähne hatten die Tiere anfangs Schwierigkeiten mit der Nahrungsaufnahme. Die Gewichtsverluste wurden rasch aufgeholt.

Auf einen antibiotischen Schutz haben wir nach den operativen Eingriffen verzichtet. Bei 3 Tieren (Nr. 60, 63, 71) kam es zu Wundheilungsstörungen. In diesen Fällen heilte die Wunde unter Lokalbehandlung per secundam. Die durchschnittliche Gewichtszunahme über die gesamte Versuchsdauer lag bei den Versuchsgruppen mit operativen Eingriffen teilweise sogar über der Gewichtszunahme der Kontrolltiere. Eine Ausnahme bildete die Versuchsgruppe, bei der ein Kunststoffkeil in den Gelenkspalt implantiert wurde. Hier hatten wir mit Abstand die geringste durchschnittliche Gewichtszunahme (Tab. I).

Neun Wochen nach Versuchsbeginn wurden die Versuchstiere und die gleichaltrigen Kontrolltiere getötet. Die Köpfe wurden abgetrennt und in 10 %igem Formalin fixiert. Nach Entfernung der Weichteile wurden die Schädel fotografiert und mit verschiedenen Methoden untersucht.

7.) Auswertung der Versuchsergebnisse

a) Kephalometrische Untersuchung

Für die Schädelmessungen wurden charakteristische, leicht indentifizierbare Meßpunkte am Kaninchenschädel ausgewählt (Abb. 10). Diese entsprechen zum Teil den Festlegungen von DUERST (zit.b. SCHUMACHER und REHMER 1964). Die Messungen haben wir teils mit einem Stechzirkel, teils mit einer Schublehre vorgenommen. Für die Höhenmaße, die von einer planen Unterlage aus gemessen wurden, wurde ein "Anreißgerät" mit Noniusskala verwendet.

b) Vergleich der Unterkiefer-Seitenaufnahmen

Von den getrennten Unterkieferhälften haben wir seitliche Röntgenaufnahmen hergestellt (1 m Abstand, 35 KV, 100 m A, 0,1 sec.). Von den Röntgenbildern wurden die Umrisse der Unterkieferhälften auf Transparentpapier so übereinander gezeichnet, daß sich eine größtmögliche Überdeckung im Bereich des Unterkieferkörpers ergab.

c) Auswertung des Fernröntgenbildes in der norma frontalis.

Vom gesamten Schädel wurden in der norma frontalis Fernröntgenaufnahmen (2,50 m Abstand, 45 KV, 200 m A, 0,8 sec.) hergestellt. Auf dem Fernröntgenbild wurden Punkte festgelegt und zu Linien verbunden (Abb. 11). Bestimmte Punkte waren vor der Aufnahme am Schädel mit kleinen Metallmarken gekennzeichnet worden. Strecken und Winkel wurden gemessen. Aus den Maßzahlen errechneten wir für jede Gruppe Durchschnittswerte, nach denen jeweils ein Durchschnittspolygon konstruiert wurde.

d) Beurteilung der Markierungslinien

Die durch die injizierten Farbstoffe markierten Knochenanbaulinien wurden, soweit sie erkennbar waren, makroskopisch beurteilt, wobei auf Seitendifferenzen geachtet wurde. Die Markierungslinien an den Zähnen gaben Aufschluß über die Durchbruchrate und indirekt über das Ausmaß der Abkautung und damit der kaufunktionellen Beanspruchung. Aus jeder Versuchsgruppe wurde ein Schädel mit deutlichen Markierungen ausgewählt. Bei diesen wurde am Unterkieferkörper in der Gegend des 2. Molaren beiderseits Querschnittsproben ausgesägt. Die Proben wurden in Kunststoff eingebettet. Davon wurden Schliffpräparate hergestellt. Bestimmte Abstände der Markierungslinien wurden unter dem Aufsichtsmikroskop mit Meßeinrichtung untersucht.

e) Statistische Berechnungen

Aus den kephalometrischen Meßwerten haben wir Mittelwerte errechnet. Die Mittelwertsdifferenzen, die sich im Seitenvergleich ergaben, wurden mit dem A - Test (abgekürzter t - Test für abhängige Stichproben; s. MITTENECKER 1963, S. 120) auf ihre Signifikanz überprüft. Als Signifikanzniveau wurde die 5 % - Basis festgelegt.

Einige interessante im Gruppenvergleich beobachtete Mittelwertsdifferenzen wurden mit dem t - Test für unabhängige Stichproben geprüft.

Interpretiert wurden nur statistisch gesicherte Unterschiede nennenswerter Größe.

IV. Ergebnisse

1.) Versuche mit Aufbißschienen bei jungen Versuchstieren

a) Allgemeine Beobachtungen

Die durch das Einsetzen der Aufbißschienen erzeugte Bißsperrung ist bei allen Präparaten verschwunden. Auch der Gelenkspalt ist jeweils an beiden Kiefergelenken gleich groß. In der Mehrzahl der Fälle besteht eine leichte mandibuläre Mittellinienverschiebung nach links, teilweise mit schräger Abkauung der Nagezähne. Die offensichtlich intrudierten rechten oberen Seitenzähne zeigen leichte Mesialverschiebung, Lückenstellung und Verbreiterung des Parodontal-spalt. Eine Tendenz zur Mesialwanderung ist auch an der unteren rechten Seitenzahnreihe erkennbar.

b) Symmetrievergleich

Fast alle Schädel der Versuchsgruppe lassen eine mehr oder weniger ausgeprägte Krümmung nach links erkennen. Am Präparat Nr. 23 (Abb. 13) ist die Schädelkoliose besonders deutlich. Hier verläuft auch die Gaumensutur nach vorne links. Der Abstand der Seitenzähne von der Suture ist rechts kleiner als links.

c) Kephalometrische Untersuchung

Die überzufälligen Mittelwertsunterschiede im Seitenvergleich sind in Tab. II zusammengestellt. Die deutlichen Differenzen bei den Meßstrecken U_3 und U_5 reflektieren in diesem Fall den Ausgangsreiz (Kronenhöhe des ersten bzw. dritten Molaren rechts bis zur Oberkante der Aufbißschiene gemessen). Alle übrigen Differenzen lassen

dagegen auf Sekundärveränderungen schließen. Die Differenz bei C_{11} drückt den unterschiedlichen Abstand der oberen Zahnreihen von der Mittellinie aus, der schon beim Symmetrievergleich aufgefallen war. Die rechts verkürzte Meßstrecke U_2 spricht für die ebenfalls beobachtete Vorwanderung der rechten unteren Seitenzahnreihe. Der Unterkieferkörper ist rechts nur im anterioren Bereich etwas niedriger als links (U_4). Daß auf beiden Seiten in etwa demselben Ausmaß Knochenanbau am Alveolarrand stattgefunden hat, beweisen die Markierungslinien am Schliffpräparat (Abb. 14). Der Kieferwinkelfortsatz ist rechts etwas breiter (U_9). Der über der Okklusionsebene gelegene Anteil des aufsteigenden Unterkieferastes (U_{11}) ist auf der rechten Seite größer, während die Gesamthöhe des Astes auf beiden Seiten genau gleich ist (U_{12}).

d) Vergleich der Unterkieferhälften

Wie die Übereinanderzeichnung der Umrisse der Unterkieferhälften zeigt (Abb. 15), gibt es keine merklichen Größenunterschiede zwischen links und rechts. Auch die Form des aufsteigenden Astes ist nicht wesentlich verschieden. Verändert ist dagegen die Lage-relation vom aufsteigenden Ast zum Unterkieferkörper. Beide Kiefer-anteile sind in vertikaler Richtung gegeneinander verschoben, der aufsteigende Ast nach oben, bzw. der Kieferkörper nach unten. An dieser Verschiebung scheint eine geringe Rotationskomponente beteiligt zu sein, die die beiden Kieferteile zueinander schwenkt und den Winkel, den sie einschließen, verkleinert. Unterhalb des durch die Aufbißschiene vermehrt belasteten Kieferabschnittes findet sich am Unterkieferrand eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Vorwölbung.

Die Betrachtung der einzelnen Röntgenaufnahmen der Unterkieferhälften (Abb. 16) ergibt, daß die die Aufbißschiene tragenden Zähne - vermutlich wegen des behinderten Durchbruchs- und Abkauungsmechanismus - insgesamt verlängert sind. Die Wurzeln reichen zum Teil bis in die Kompakta des Unterkiefferrandes. Der normalerweise vorhandene radiotransluzente apikale Wachstumsbezirk ist von verkalktem Zahngewebe ausgefüllt. Die Zähne selbst sind nach vorne abgekrümmt.

e) Auswertung der frontalen Fernröntgenbilder

Das Durchschnittspolygon für die Gruppe mit seitlichen Aufbissen (Abb. 17) zeigt gegenüber dem Durchschnittspolygon der Kontrollgruppe eine relative Erhöhung der den Kaukomplex einschließenden unteren Kopfhälfte. Die Erhöhung ist auf der rechten Seite etwas stärker, so daß die Unterkieferebene (UE) nach rechts unten verläuft. Die unterschiedliche Neigung der Unterkieferebene und der unteren Alveolarrandebene (uAE) ist durch die veränderte Lage- relation der Kieferäste bedingt. Die Okklusionsebene (OE) steigt nach rechts an. Der Vergleich mit der Kontrollgruppe zeigt, daß die belasteten rechten oberen Seitenzähne im Kiefer versenkt sind, während sich die entlasteten linken oberen Seitenzähne "verlängert" haben. Der Verlauf der oberen Alveolarrandebene (oAE) deutet darauf hin, daß nicht nur die Zähne im Alveolarknochen intrudiert sind, sondern daß auch der Alveolarknochen gegenüber den benachbarten Knochenpartien weiter kranial liegt.

2.) Versuche mit Aufbißschienen bei ausgewachsenen Tieren

a) Allgemeine Beobachtungen

Auch in dieser Versuchsgruppe sind zum Zeitpunkt der Tötung wieder alle Zähne in Kontakt und die Gelenkbeziehungen normalisiert. Die auch bei den jungen Tieren beobachtete mandibuläre Mittellinienverschiebung nach links ist hier wesentlich stärker ausgeprägt. Zusätzlich besteht eine Tendenz zur Vorverlagerung der Mandibula, die in einem Fall zu einem Kopfbiß und in einem zweiten Fall zu einem umgekehrten Überbiß der Inzisivi geführt hat. Die rechten oberen Seitenzähne stehen meist lückig. Der Parodontalspalt ist hier auf der bukkalen Seite stark erweitert.

b) Symmetrievergleich

An den Schädeln sind keine nennenswerten Asymmetrien nachweisbar. Geringe Seitendifferenzen finden sich im Kieferbereich. So ist der Abstand der oberen Seitenzähne von der leicht nach vorne rechts abweichenden Gaumen sutur rechts kleiner als links.

c) Kephalometrische Untersuchung

Die signifikanten Seitenunterschiede bei den Meßstrecken C_5 und C_6 (Tab. III) dürften in erster Linie auf eine Verkürzung der oberen rechten und eine Verlängerung der oberen linken Seitenzähne zurückzuführen sein. Der kleine Durchschnittswert für C_{11} auf der rechten Seite ist Ausdruck der Verschiebung der rechten oberen Seitenzähne nach medial. Der Abstand des Jochbogens von der Fossa pterygo-palatina ist rechts etwas größer als links (C_{12}). Die Mittelwerts-

differenzen für U_4 und U_8 sprechen dafür, daß der rechte Unterkieferkörper etwas niedriger ist als der linke. Im Bereich des aufsteigenden Astes ergeben sich keine überzufälligen Seitenunterschiede.

d) Vergleich der Unterkieferhälften

Die Übereinanderzeichnung der Konturen läßt keine wesentlichen Größen- oder Formunterschiede erkennen (Abb. 19). Die charakteristischen Veränderungen, wie wir sie bei dem Versuch mit jungen Versuchstieren beobachtet haben, sind hier nicht nachweisbar. Nur Schädel Nr. X zeigt eine Erhöhung und gleichzeitige Verschmälerung des rechten Unterkieferastes. Die bei den Jungtieren beobachtete Vorwölbung am Unterkieferrand unterhalb der belasteten Seitenzähne ist hier nur wenig ausgeprägt. Die intensive Anfärbung mit Vitalfarbstoff beweist jedoch (Abb. 21), daß Knochenapposition stattgefunden hat.

e) Auswertung der frontalen Fernröntgenbilder

Das Mittelwertspolygon (Abb. 22) entspricht im wesentlichen dem Bild, das wir auch bei den jungen Versuchstieren erhielten. Auffallend ist die Seitenabweichung des Unterkiefers. Damit im Zusammenhang steht die leichte Neigung der Kondylenebene (KE) nach rechts unten. Gegenüber dem Durchschnittspolygon in der Jungtiergruppe ist die Okklusionsebene (OE) hier stärker geneigt. Der Winkel, den die obere und untere Alveolarrandebene (oAE und uAE) einschließen, ist dagegen kleiner. Das bedeutet, daß bei den ausgewachsenen Tieren die Seitenzähne stärker im Alveolarknochen versenkt sind und der Alveolarknochen selbst weniger am

Ausgleich beteiligt ist.

3.) Abschleifen der rechten Seitenzähne

a) Allgemeine Beobachtungen

Der durch das Abschleifen der rechten Seitenzähne entstandene seitlich offene Biß ist in den meisten Präparaten durch die Anpassungsveränderungen bereits geschlossen. In zwei Fällen, in denen das letzte Abschleifen wenige Tage vor der Tötung der Tiere erfolgte, sind die rechten Seitenzähne noch nicht in Okklusion. Die Zahndurchbruchrate ist, wie an den Farbstoffmarkierungen zu erkennen ist (Abb. 24), auf der entlasteten rechten Seite wesentlich größer.

b) Symmetrievergleich

Die in dieser Versuchsgruppe festgestellten Schädelasymmetrien sind geringfügig und lassen keine Bevorzugung einer bestimmten Seite erkennen. An einigen Schädeln ist eine leichte Mesialwanderung der rechten Seitenzahnreihen zu beobachten.

c) Kephalometrische Untersuchungen (Tab. IV)

Der Abstand zwischen dem palatinalen Alveolarrand des dritten Molaren und der Gaumennaht ist links größer als rechts (C_{11}). Der horizontale Unterkieferast erscheint rechts in seinem anterioren Abschnitt (U_1) geringfügig verkürzt. Seine vertikalen Maße im Bereich der Molaren liegen rechts deutlich unter denen der linken Seite (U_4 , U_6 , U_8). Der Abstand des letzten Molaren vom Hinterrand des aufsteigenden Astes (U_{10}) ist auf der rechten Seite kleiner.

Die geringe Differenz in der Höhe des aufsteigenden Astes (U_{12}) ist zu vernachlässigen.

d) Vergleich der Unterkieferhälften

Die Übereinanderzeichnung der Unterkieferhälften läßt geringe Formunterschiede erkennen, die jedoch keine einheitliche Tendenz zeigen (Abb. 25).

e) Auswertung der frontalen Fernröntgenbilder

Gegenüber der Kontrollgruppe erscheint die untere Kopfhälfte im Durchschnittspolygon (Abb. 26) relativ erhöht. Die Okklusions-ebene (OE) fällt leicht nach rechts ab. Die Neigung der unteren Alveolarrandebene (uAE) entspricht der auf der rechten Seite reduzierten Höhe des Unterkieferkörpers. Bemerkenswert ist der annähernd regelrechte Verlauf der Unterkieferebene (UE).

4.) Kondylektomie am rechten Kiefergelenk

a) Allgemeine Beobachtungen

In der Hälfte der Fälle ist der Kondylus partiell regeneriert (Abb. 28). Der Gelenkkopf bzw. der Stumpf des aufsteigenden Astes weist keine regelrechte Beziehung zur Gelenkkrille auf. Dazwischen liegt ein mehr oder weniger großer Spalt, der mit derbem Bindegewebe ausgefüllt war. Gelenkkrille, Resektionsstumpf und Jochbogen zeigen zum Teil unregelmäßige Auflagerungen verkalkenden osteoiden Gewebes, durch die die Abstände des Resektionsstumpfes zu den benachbarten Schädel-

knochen verringert wird.

Das Abkauungsmuster der Zähne ist ^{un}regelmäßig und weicht von dem anderer Versuchsgruppen deutlich ab. Sowohl die kurzen Schliffflächen an den unteren Inzisivi, als auch ein überhöhtes Kauleistenrelief am mesialen Rand der rechten unteren Molarenreihe zeugt von einer rechtsseitig behinderten Unterkiefervorschubbewegung. Die Unterkiefermitte ist unter schräger Abkauung der Nagezähne vorzugsweise zur operierten Seite hin verschoben.

b) Symmetrievergleich

Bei vier Präparaten dieser Gruppe ist der Schädel nach rechts gekrümmt. Der Vorderrand der Gelenkkrille liegt meist auf der rechten Seite weiter rostral (Abb. 29).

c) Kephalometrische Untersuchungen (Tab. V)

Überzufällige Seitendifferenzen ergeben sich in den vertikalen Ausmaßen des Schädels (C_4 , C_5 , C_6). Die Mittelwerte dieser Maße sind jeweils rechts kleiner als links. Der geringere Wert für C_9 auf der rechten Seite entspricht der beobachteten Vorverlagerung der Gelenkkrille. Die Veränderungen am Unterkiefer konzentrieren sich auf den Kieferwinkel und den aufsteigenden Ast. Der Kieferkörper ist distal vom letzten Molaren auf der operierten Seite deutlich niedriger (U_8). Der Processus angularis ist in seiner sagittalen Ausdehnung rechts verkürzt (U_9), der Ramus ascendens auf der selben Seite schmaler (U_{10}) und niedriger (U_{11} , U_{12}).

d) Vergleich der Unterkieferhälften

Die Umrißzeichnungen (Abb. 30) lassen ein Wachstumsdefizit auf der rechten Seite erkennen. Das Ausmaß der Hypoplasie erscheint nicht sehr groß, wenn man berücksichtigt, daß primär ein Stück Knochen reseziert worden ist. Die Ansatzstelle des M.temporalis tritt auf der rechten Seite stärker hervor.

e) Auswertung der frontalen Fernröntgenbilder

An den Durchschnittspolygonen (Abb. 31) fällt auf, daß in der Kondylektomiegruppe der gesamte obere Kopfanteil erniedrigt erscheint, uns zwar rechts mehr als links. Die Cranialebene (CE) fällt daher leicht nach rechts ab. Die Höhe des unteren Kopfanteils erscheint auf der operierten Seite unverändert, auf der Gegenseite etwas erhöht. Die Unterkieferebene (UE) steigt daher nach rechts an. Einen etwas geringeren Anstieg zeigen die Okklusionsebene (OE) und die untere Alveolarrandebene (uAE). Die Unterkiefermitte ist nach links verschoben. Entsprechend dem erheblich verkürzten aufsteigenden Unterkieferast verläuft die Kondylenebene (KE) nach unten rechts.

5.) Implantation eines Kunststoffkeils in den Gelenkspalt des rechten Kiefergelenkes.

a) Allgemeine Beobachtungen

Der Gelenkkopf ist in allen Fällen stark deformiert, in einigen Fällen sogar völlig destruiert (Abb. 33). Beim Versuchstier Nr. 60 dürfte ein

entzündlicher Prozeß zur Destruktion beigetragen haben. Das Abkautungsmuster der Zähne ist anormal, läßt aber keine einheitliche Tendenz erkennen.

b) Symmetrievergleich

In der Mehrzahl der Präparate ist eine mehr oder weniger ausgeprägte Krümmung des Schädels nach links nachweisbar (Abb. 34). Besonders das Rostrum weicht deutlich nach links ab. Die Gaumensutur verläuft meist nach vorne links. Die rechte Gelenkkrille scheint weiter vorne zu liegen als die linke.

c) Kephalometrische Untersuchungen (Tab. VI)

Der Mittelwert für die Meßstrecke C_4 (Nasoliberale-Malare) ist links etwas größer als rechts. Der linksseitig verkleinerte Abstand vom Prosthion zum Malare (C_7) kann mit der beobachteten Abweichung des Rostrums nach links erklärt werden. Der durch den Jochbogen eingeschlossene Raum ist auf der rechten Seite kürzer, aber breiter (C_9 , C_{12}). Die Knochenbrücke über der Gelenkkrille ist rechts deutlich massiver als links (C_{14}). Das Corpus mandibulae erscheint auf der operierten Seite niedriger als auf der Gegenseite (U_6 , U_8). Der Kieferwinkelfortsatz ist in seiner sagittalen Ausdehnung rechts etwas kürzer (U_9), der aufsteigende Ast auf der selben Seite etwas schmaler (U_{10}) und deutlich niedriger (U_{11} , U_{12}).

d) Vergleich der Unterkieferhälften (Abb. 35)

Die rechten Kieferhälften erscheinen im Bereich des Kieferwinkelfortsatzes und des aufsteigenden Astes etwas unterentwickelt. Mehr als die Größendifferenz aber imponiert die Deformierung bzw. Destruktion

des Kondylus. Die Ansatzstelle des M.temporalis ist rechts stärker entwickelt.

e) Auswertung der frontalen Fernröntgenbilder

Die am Durchschnittspolygon (Abb. 36) erkennbaren Abweichungen entsprechen denen der Kondylektomiegruppe. In geringerem Ausmaß finden wir auch hier eine nach rechts ansteigende Unterkieferebene (UE), Okklusionsebene (OE) und untere Alveolarrandebene (uAE), während die Kondylenebene (KE) nach rechts abfällt.

6.) Muskeltransposition des rechten M.masseter und M.pterygoideus medialis

a) Allgemeine Beobachtungen

Auffallendes Merkmal dieser Versuchsgruppe ist der verkleinerte Kieferwinkelfortsatz auf der Seite der Muskeltransposition (Abb. 39). Die Incisura praeangularis ist dadurch deutlich abgeflacht. Der Rand des Processus angularis ist meist höckerig und verdickt. Knochenrauigkeit finden sich auch an der lateralen und medialen Fläche des Kieferwinkelfortsatzes. In den Fällen mit Kontrolloperation auf der linken Seite sind ähnliche Veränderungen auch am linken Kieferwinkel zu beobachten (Abb. 40).

b) Symmetrievergleich

Nennenswerte Asymmetrien sind weder am Neurokranium noch am Viszerokranium nachzuweisen.

c) Kephalmetrische Untersuchung (Tab. VII, VIII)

Der Abstand des Jochbogens von der Fossa pterygopalatina ist rechts durchschnittlich etwas größer (C_{12}). Die übrigen Unterschiede betreffen den Unterkiefer. So ist der Abstand zwischen Infradentale und Alveolarrand des ersten Molaren rechts etwas kleiner als links (U_1). Die Höhe des Kieferkörpers distal vom letzten Molaren ist auf der rechten Seite geringer (U_8). Der aufsteigende Ast erscheint auf derselben Seite schmaler (U_{10}) und insgesamt niedriger (U_{12}).

Bei gesonderter Betrachtung der Fälle, in denen zusätzlich links eine Kontrolloperation gemacht worden war, ergeben sich keine statistisch gesicherten Seitenunterschiede.

d) Vergleich der Unterkieferhälften

Aus der Übereinanderzeichnung der Unterkieferhälften (Abb. 41) ist zu erkennen, daß nach einseitiger Muskeltransposition der Processus angularis der operierten Seite merklich verkleinert ist. Bei gleichzeitiger Kontrolloperation auf der Gegenseite sind beide Seiten ungefähr im selben Ausmaß von der Hypoplasie betroffen.

e) Auswertung der frontalen Fernröntgenbilder

Das Durchschnittspolygon für die Schädel mit einseitiger Muskeltransposition und Kontrolloperation auf der Gegenseite (Abb. 43) ist symmetrisch aufgebaut und weicht nicht wesentlich von dem der Kontrollgruppe ab. Nur die Incisura praeangularis (PRA) hebt sich hier weniger von der Unterkieferebene ab. Bei den Fällen ohne Kontrolloperation (Abb. 42) imponiert die durch einseitige Unterentwicklung des Kieferwinkelfortsatzes bedingte Unterkieferasymmetrie.

7.) Muskelkürzung des rechten M.masseter und M.pterygoideus medialis

a) Allgemeine Beobachtungen

Die lokalen Veränderungen am Kieferwinkel weisen große Ähnlichkeit mit denen der Muskeltranspositionsgruppe auf (Abb. 46, 47).

b) Symmetrievergleich

An einigen Präparaten sind Schädelkrümmungen nachweisbar. Eine Gesetzmäßigkeit ist dabei nicht zu erkennen.

c) Kephalometrische Untersuchung (Tab. IX, X)

Für die Gesamtgruppe ist der Mittelwert des Abstandes Nasoliberale-Malare (C_4) links größer als rechts. Der Abstand des Prosthion vom Malare ist rechts vergrößert (C_7). Die Unterschiede sind hauptsächlich durch die Fälle mit einseitigem operativen Eingriff (ohne Kontrolloperation) bedingt. Im Unterkiefer ist der Abstand des Infradentale vom Alveolarrand des ersten Molaren auf der rechten Seite verkleinert. (U_1). Die Kronen der ersten Molaren sind rechts höher als links (U_3) - bedingt durch die Differenzen bei den Fällen ohne Kontrolloperation. Auf der operierten Seite ist auch die Höhe des Unterkieferkörpers im distalen Bereich reduziert (U_8), der aufsteigende Ast erscheint in seinem oberen Teil leicht verlängert (U_{11}), während er insgesamt verkürzt ist (U_{12}).

d) Vergleich der Unterkieferhälften (Abb. 48)

Der Vergleich zeigt deutlich eine Hypoplasie des Kieferwinkelfortsatzes, soweit die operierte rechte Seite mit der gesunden linken

verglichen wird. In den Fällen mit Kontrolloperation ist der Kieferwinkelfortsatz beiderseits in etwa demselben Ausmaß unterentwickelt.

e) Auswertung der frontalen Fernröntgenbilder

Die Veränderungen der Durchschnittspolygone sind auch in dieser Versuchsgruppe gering. Sie entsprechen in Richtung und Größe ungefähr jenen, die wir für die Gruppe mit Muskeltransposition beschrieben haben (Abb. 49, 50).

V. DISKUSSION

1.) Die Wirkung der experimentellen Belastungsvariation

a) Aufbißschienen bei jungen Versuchstieren

Nach den Ergebnissen ist anzunehmen, daß an dem Anpassungsvorgang mehrere Mechanismen beteiligt sind. Verschiedene Veränderungen haben zum Ausgleich der vertikalen Niveaudifferenz beigetragen. Durch diese Verteilung blieb das Ausmaß der einzelnen Anpassungsveränderung gering.

Wir haben festgestellt, daß im Oberkiefer auf der belasteten Seite sowohl der zahntragende Kieferknochen gegenüber dem Gesamtschädel, als auch die Zähne gegenüber dem sie umgebenden Alveolarknochen intrudiert erscheinen. Es drängt sich dabei das Bild eines Telekopes auf, an dem verschiedene Teile ineinander geschoben werden. Das würde bedeuten, daß im Knochen selbst Umbauvorgänge stattfinden. Wenn in diesem

Zusammenhang von "Intrusion" oder "Versenken" die Rede ist, dürfen diese Begriffe nicht mechanistisch verstanden werden. Es soll damit nur die Richtung einer relativen Veränderung zum Ausdruck kommen. Die Veränderung kann auch in einem Zurückbleiben gegenüber anderen wachsenden Teilen bestehen.

Aus dem frontalen Fernröntgenbild haben wir Anhaltspunkte gewonnen, daß sich die weniger belasteten Zähne der Gegenseite mit ihren Alveolen "verlängert" haben. Insgesamt ist es dadurch zu einer Überhöhung der unteren Kopfhälfte gekommen.

Bemerkenswert ist, daß auch skelettale Veränderungen an der Mandibula zum Ausgleich der Niveaudifferenz beigetragen haben. Wie der Vergleich der Unterkieferhälften zeigte, haben sich Kieferkörper und aufsteigender Ast auf der belasteten Seite gegeneinander verschoben. Diese Veränderung ist, wie wir aus den markierten Knochenanbaulinien klar erkennen konnten durch vermehrte bzw. verminderte Apposition an den Knochenrändern des aufsteigenden Astes zustande gekommen.

Bei der am rechten Unterkieferrand beobachteten Vorwölbung dürfte es sich nicht um eine "Durchbiegung" des Kieferkörpers handeln, woran das Bild zunächst denken läßt, sondern um einen vermehrten Knochenanbau an einer Stelle, an der die Kompakta durch Resorption von innen geschwächt ist.

Der auf den wachsenden Schädel übertragene ungleichmäßige Kau-
druck hat dort zu asymmetrischem Wachstum geführt und ist Ursache der Schädel skoliosen.

b) Aufbißschienen bei ausgewachsenen Versuchstieren.

Das Anpassungsmuster bei den ausgewachsenen Tieren weicht von dem der Jungtiere ab. Wichtigstes Ergebnis ist, daß in dieser Versuchsgruppe keine skelettale Veränderung an der Mandibula beobachtet wurde. Bei der "Versenkung" der belasteten Seitenzähne scheinen im vermehrten Maße die unmittelbar an den Zahn angrenzenden Gewebe betroffen zu sein, während entferntere Knochenstrukturen sich kaum am Anpassungsvorgang beteiligen.

Die bei den ausgewachsenen Versuchstieren vermehrt aufgetretene Lateralverschiebung des Unterkiefers nach links ist auch als -funktionell minderwertige- Anpassung zu verstehen. Durch diese Verschiebung wird der Unterkiefer leicht geschwenkt, wobei sich der rechte Kondylus nach vorne bewegt. Da die Gelenkkrille nach vorne unten verläuft, findet der durch den Aufbiß nach unten gezogene Kondylus in der Vorschubstellung eher Kontakt und Abstützung. Die leicht nach rechts unten geneigte Kondylenebene im frontalen Fernröntgenbild spricht für diese Deutung.

Aus den Ergebnissen läßt sich schließen, daß die Plastizität des Knochens mit dem Alter abnimmt. Genauer gesagt, bereits gebildeter Knochen ist durch Belastung weniger zu beeinflussen, als der Bildungsvorgang selbst. Für die funktionelle Anpassung stehen in fortgeschrittenem Alter weniger reaktionsfähige Mechanismen zur Verfügung. Dadurch werden einzelne Strukturen vermehrt betroffen, was die Gefahr pathologischer Entwicklungen erhöht. Es hat auch zur Folge, daß die Anpassungsvorgänge längere Zeit beanspruchen. Die bei den ausgewachsenen Tieren lange Zeit beobachteten Schwierigkeiten in

der Nahrungsaufnahme, die uns zu besonderen Maßnahmen zwang, sind uns dafür Beweis.

c) Abschleifen der Zahnkronen

Durch das wiederholte Abschleifen waren die rechten Seitenzähne während der Versuchsdauer von 9 Wochen kaum in Okklusion. Da beim Kauakt die größten Kaudruckwerte erst unmittelbar vor dem Antagonistenkontakt erreicht werden, ist an einer auf Grund der Abschleißmaßnahmen verminderten Belastung der rechten Seitenzahnreihen nicht zu zweifeln. Anzeichen dafür, daß auf der Gegenseite eine absolute Mehrbeanspruchung der Kiefer eingetreten ist, sind nicht gegeben.

Anders als in den Versuchen mit einseitigen Aufbißschienen hat das Abschleifen der Zahnkronen keine wesentlichen Veränderungen am Aufbau des Schädels und der Kiefer bewirkt. Der durch Abschleifen der Zahnkronen erzeugte seitlich offene Biß wird fast ausschließlich durch rasches Nachwachsen der Seitenzähne geschlossen. Die Bißhöhe wird in der Zwischenzeit durch andere "Stützsysteme" gehalten. Der rechte aufsteigende Ast mit dem Kondylus, an dem wir eine vermehrte Belastung angenommen hatten, ist nicht verkürzt, er hat sein normales vertikales Wachstum im wesentlichen fortgesetzt. Die einzige, wichtige Normabweichung dieser Gruppe ist das verminderte vertikale Wachstum des rechten zahntragenden Kieferkörpers.

d) Kondylektomie

Nach Entfernung des Kondylus scheidet der rechte aufsteigende Unterkieferast als rückwärtiger Stützpfeiler aus. Die durch den Ein-

griff ausgelösten Veränderungen sind, wie das frontale Fernröntgenbild zeigt (Abb. 31), erheblich. Der nach rechts ansteigende Verlauf der Unterkieferebene ist nur teilweise durch die festgestellte Hypoplasie im Bereich des Kieferwinkelfortsatzes bedingt. Auch eine seitenungleiche Veränderung der Bißhöhe scheint daran beteiligt zu sein (Anstieg der Okklusionsebene nach rechts). Es dürfte sich dabei weniger um eine Bißsenkung auf der rechten Seite, als um eine Bißerhöhung auf der linken handeln (Vergleich mit der Kontrollgruppe; Abb. 31).

Als Ursache für die Bißerhöhung auf der linken, gesunden Seite nehmen wir eine verminderte Beanspruchung der linken Zahnreihen an. Diese läßt sich aus dem Abkauungsmuster der Zähne ableiten. Wir vermuten, daß durch bindegewebige Verwachsungen im rechten Gelenkbereich die Exkursion des Unterkiefers nach links, die für die volle Belastung der linken Zahnreihen Voraussetzung wäre, behindert war.

Die Ursachen für das festgestellte Wachstumsdefizit im Bereich des aufsteigenden Astes und des Kieferwinkels können nicht mit Sicherheit angegeben werden. Neben dem Ausfall des potentiellen Wachstumszentrums am Kondylus könnte auch eine gewisse Bewegungseinschränkung dafür verantwortlich sein.

Durch die Gelenkresektion wurden auch Bedingungen geschaffen, die zu asymmetrischem Schädelwachstum führen können.

e) Implantation eines Kunststoffkeils in den Gelenkspalt

Das Einschieben eines Kunststoffkeils von mindestens 2 - 3 mm Höhe in den Gelenkspalt mußte zu einer erheblichen Belastung der Gelenkrille und des Kondylus führen, da der Kaudruck unter diesen Bedingungen in erster Linie das Gelenk trifft. Ein zusätzlicher mechanischer

Insult durch die Reibung an dem Fremdkörper ist nicht auszuschließen. Unter dieser Beanspruchung kommt es zur Verformung oder völligen Destruktion des Kondylus. Wenn dieser Zustand erreicht ist, ergeben sich Belastungsverhältnisse, die denen der Kondylektomiegruppe gleichen.

Die sekundären Anpassungsveränderungen im Kieferbereich entsprechen auch jenen, die wir nach der Kondylektomie beobachtet haben. Die Ergebnisse sind insofern eine Bestätigung für die Auswirkungen der Gelenkresektion.

f) Muskeltransposition und Muskelkürzung

Durch die einseitige Transposition des Ansatzes der beiden großen Kaumuskeln an eine Stelle, die dem Muskelursprung näher liegt, sollte nach unserer Vorstellung die Belastung auf der betroffenen Seite vermindert werden.

Eine Wirkung auf die Zahnreihen, die Gelenke und ihre knöchernen Abstützung ist nicht nachweisbar. Als nennenswerte Veränderung haben wir nur einen Wachstumsausfall in dem Bereich des Kieferwinkelfortsatzes gefunden, von dem der Muskel entfernt worden war. Ähnliche Veränderungen wurden aber auch durch die Kontrolloperation und durch die Muskelkürzung verursacht.

2.) Die theoretische Bedeutung der Versuchsergebnisse

Im vorangegangenen Abschnitt wurden die Anpassungsmuster bei verschiedenen Belastungsvariationen und die dabei beobachteten altersbedingten Unterschiede beschrieben. Damit sind die beiden ersten Fragen, die wir gestellt hatten, beantwortet. Es bleibt - vor dem Hintergrund der eingangs besprochenen Theorien der funktionellen Anpassung - zu überlegen, durch welche Mechanismen die funktionelle Anpassung erzielt wird und inwieweit allgemeine Gesetzmäßigkeiten erkennbar sind (3. Frage).

Die in der Gruppe mit seitlichen Aufbißschienen festgestellte Formveränderung der Mandibula im Sinne einer veränderten Lagerrelation von Unterkieferkörper und aufsteigendem Ast läßt zunächst an Umbauvorgänge im Knochen denken. So könnten etwa im Grenzbereich zwischen Unterkieferkörper und aufsteigendem Ast die Knochenbälkchen unter der Belastung ihre Lage verändern. In Wirklichkeit ist jedoch die Verschiebung der Teile dadurch zustande gekommen, daß im Bereich des Kieferwinkels weniger, im Gelenkbereich und an anderen Stellen dagegen mehr Knochen angebaut worden ist. Bemerkenswert ist, daß bei diesem komplizierten Umbau die Form des aufsteigenden Astes ziemlich genau beibehalten worden ist.

Wir haben festgestellt, daß der Zahndurchbruchsmechanismus wesentlich zur Anpassung beiträgt. In der Gruppe mit seitlichen Aufbißschienen fanden wir die entlasteten linken Seitenzähne mit ihren Alveolen "verlängert", sowohl im Verhältnis zur Gegenseite, wie im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die überlasteten rechten Seitenzähne erscheinen zwar leicht intrudiert, ein gewisses vertikales Wachstum muß jedoch auch hier stattgefunden haben. Nach einseitigem Abschleifen der rechten Seitenzähne waren fast ausschließlich die Zähne der Gegenseite funktionell beansprucht. Trotzdem

kam es hier zu keiner Hemmung des Zahndurchbruchs, während auf der entlasteten Seite die größere Eruptionsrate beobachtet wurde. Auch nach Verlust der rückwärtigen Abstützung durch die Kondylektomie war der Zahndurchbruch auf der operierten Seite nicht gehemmt, während sich auf der Gegenseite die Molaren unter verminderter funktioneller Beanspruchung verlängert hatten.

Diese Befunde lassen eine Gesetzmäßigkeit erkennen. Am wachsenden Individuum kann durch eine erhebliche Mehrbelastung der Zahndurchbruch etwas gehemmt werden. Eine wesentliche Bißsenkung ist damit jedoch nicht zu erzielen. Dagegen wird durch eine Entlastung die Durchbruchrate gesteigert und der Biß gehoben. Das bedeutet, daß der Zahndurchbruch aller Zähne zusammen im Wachstumsalter eine in vertikaler Richtung wirkende aktive Kraft darstellt, die einem "Wachstumszentrum" vergleichbar ist. Die kaufunktionelle Belastung wirkt dieser Kraft entgegen. Der Zahndurchbruchsmechanismus folgt somit annähernd dem HÜTER-VOLKMANN'schen Gesetz.

Man darf annehmen, daß die Durchbruchskraft mit zunehmendem Alter abnimmt, während die kaufunktionelle Beanspruchung wächst, solange die Masse der Kaumuskeln zunimmt. Die Bißhöhe stellt einen Gleichgewichtszustand dar, der sich mit zunehmendem Alter verschiebt. Ein stabiles Gleichgewicht wird erreicht, wenn die Belastungsgröße einen weiteren Zahndurchbruch verhindert, bzw. die Eruptionsrate soweit begrenzt, daß nur noch der durch Abkautung der Zähne bedingte Bißhöhenverlust ausgeglichen wird.

Bis hierher war nur vom Zahndurchbruch, der mit Knochenapposition am Fundus und an den Innenwänden der Alveole verbunden ist, die Rede. Wie aber verhält sich der zahntragende Kieferknochen, vorallem der Alveolarrand, auf die Belastungsvariation?

Die einzige wesentliche Seitendifferenz in der Höhe des Alveolarknochens fanden wir nach einseitigem Abschleifen der Zahnkronen. Im Bereich der außer Okklusion befindlichen, rechten Seitenzahnreihe ist das Wachstum des Alveolarknochens zurückgeblieben. Es liegt der Schluß nahe, daß die funktionelle Belastung Voraussetzung für die Knochenbildung am Alveolarrand ist.

Das Ausbleiben einer Wachstumshemmung auf der entlasteten linken Seite in der Gruppe mit seitlichen Aufbissen, dürfte darauf zurückzuführen sein, daß durch die raschen Anpassungsveränderungen die Zähne nach kurzer Zeit wieder in Okklusion waren. Dadurch wurden wieder in normalem Umfang funktionelle Kräfte über den parodontalen Aufhängeapparat auf den Alveolarknochen übertragen. Durch die wiederholten Abschleifmaßnahmen dagegen waren nennenswerte funktionelle Belastungen über die gesamte Versuchsdauer ausgeschlossen.

Aus diesen Befunden ist zu folgern, daß der Alveolarknochen keine eigene Wachstumskraft besitzt. Die Knochenapposition am Alveolarrand erfolgt auf Grund funktioneller Einwirkungen. Hier hat somit die Theorie von WOLFF und ROUX Gültigkeit.

Die weiteren Überlegungen gelten der Reaktion des Kondylenwachstums auf die experimentelle Belastungsvariation. Für die Gruppe mit einseitigen Aufbissen dürfen wir mit Sicherheit annehmen, daß der rechte Kondylus aus der Gelenkkrille gezogen und das Gelenk somit entlastet wurde. Die Meß-

werte für die Gesamthöhe des aufsteigenden Astes waren auf beiden Seiten gleich groß. Da wir jedoch auf der belasteten Seite verminderten Knochenanbau am Kieferwinkel festgestellt hatten, mußte am Kondylus im selben Ausmaß vermehrt Knochen gebildet worden sein. Der signifikante Unterschied im Abstand zwischen den letzten Molaren und der Kondylenvorderkante bestätigte diese Annahme. Eine Entlastung im Kiefergelenkbereich führt also zu vermehrtem vertikalen Wachstum.

Nach einseitiger Entfernung der seitlichen Stützzone durch Abschleifen der Zahnkronen, wurde nur eine sehr geringe Höhendifferenz am aufsteigenden Ast festgestellt, obwohl damit eine Mehrbelastung des Gelenkes verbunden ist. In der Wachstumsperiode wird das Kondylenwachstum offensichtlich auch gegen erhöhte Belastung fortgesetzt. Sehr starke Kräfte führen jedoch zur Destruktion des Wuchsknorpels und damit zum Wachstumsstillstand.

Auf Grund der vorliegenden Befunde möchten wir annehmen, daß vom Wuchsknorpel des Kiefergelenkes eine, wenn auch geringe, Wachstumskraft ausgeht und der Kondylus somit als Wachstumszentrum zu gelten hat. Die geringe Wachstumskraft würde -entsprechend der HÜTER-VOLKMANN'schen Theorie- durch eine geringe funktionelle Belastung in ihrer Wirkung begrenzt.

Nach Ansicht von DIAMOND (1944), SICHER (1947) und anderen stellt das Kondylenwachstum den Schrittmacher für die gesamte Vertikalentwicklung dar, indem es den Unterkieferkörper nach unten bringt und damit Raum für den Durchbruch der Zähne schafft. Umgekehrt sah BAKER (1941) in Wachstum und Durchbruch der Zähne die treibende Kraft für die Bißhebung, während der aufsteigende Ast nur passiv dieser Bewegung folgen sollte. In dieser Ausschließlichkeit steht keine der beiden Annahmen mit

unseren Ergebnissen in Einklang. Wir glauben, daß beide Mechanismen für die Vertikalentwicklung verantwortlich sind. Als dritter Faktor könnte die Stemmkörperwirkung der Zunge hinzukommen (G.MÜLLER 1963).

Ein wichtiger Punkt der Kraftübertragung sind die Muskelansatzstellen. Daß das Kieferwachstum in diesem Bereich mit der Muskelinsertion zusammenhängt und rein reaktiv erfolgt, wurde wiederholt festgestellt. Trotz zahlreicher Untersuchungen scheint jedoch bis heute ungeklärt zu sein, wie das Wachstum kontrolliert wird. Gegen einen einfachen Zusammenhang mit den übertragenen Kräften spricht das Experiment, in dem BOYD und Mitarbeiter (1967) trotz Ausschaltung der Muskelspannungen kein Wachstumsdefizit am Temporalisansatz feststellen konnten, und die Tatsache, daß es im Bereich der Muskelansatzstellen sowohl Zonen mit Knochenapposition als auch Zonen mit Resorption gibt (BAUME 1955; SCOTT 1957; ENLOW und HARRIS 1964; HOYTE und ENLOW 1966).

Aus unseren Versuchsergebnissen läßt sich zu dieser Frage nur folgendes beitragen. Jede Störung der osteogenen Gewebe am Muskelansatz führt zu einem Wachstumsdefizit. Schon das Ablösen des Muskels von der Ansatzstelle und Wiederaufheften genügt, um weiteres Knochenwachstum an dieser Stelle zu hemmen. Die Verpflanzung oder Kürzung des Muskels bringt demgegenüber keine Steigerung des Effektes.

Daß wir nach den operativen Eingriffen an den Kaumuskeln, vor allem nach der einseitigen Muskeltransposition mit Verkürzung des Abstandes zwischen Ursprung und Ansatz, keine Auswirkungen auf die Bißhöhe fanden, spricht für die rasche und weitgehende Anpassungsfähigkeit der Muskulatur. Es scheint primär nicht die Beschaffenheit der Muskeln zu

sein -pathologische Zustände ausgenommen- , die die Belastungsgröße im Bereich der Zahnreihen bedingt, sondern die Leistung, die der Muskulatur abverlangt wird.

3.) Die Gültigkeit der Ergebnisse

Der Wert einer Untersuchung hängt wesentlich von der Gültigkeit und Verallgemeinerungsfähigkeit der Ergebnisse ab. Eine Schwierigkeit bei Untersuchungen dieser Art besteht darin, daß der experimentell gesetzte Reiz sehr komplexe Auswirkungen haben kann und der Mechanismus der Beeinflussung nicht immer eindeutig zu erkennen ist. Wir haben versucht, die Einhaltung der intendierten Versuchsbedingungen zu prüfen, sowie die Ergebnisse kritisch zu bewerten und gegen Zufallsbefunde abzugrenzen.

Das Problem der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Verhältnisse beim Menschen stellt sich wie bei allen tierexperimentellen Untersuchungen. Es ist anzunehmen, daß die Anpassungsmuster beim Menschen von unseren Ergebnissen etwas abweichen. Vor allem vermuten wir Differenzen in der Anpassungsgeschwindigkeit und in den Grenzen der Anpassungsfähigkeit. Auf Grund der Übereinstimmung in den Grundzügen des anatomischen Bauplans, im Aufbau der beteiligten Gewebe, und in den funktionellen Zusammenhängen der Glieder des Kausystems, sollten jedoch Analogieschlüsse möglich sein.

D. ZUSAMMENFASSUNG

1. In der vorliegenden Arbeit werden die morphologischen Veränderungen im Kausystem nach experimenteller Variation der kaufunktionellen Belastung beim Hauskaninchen untersucht.
2. Zu diesem Zweck werden in verschiedenen Versuchsgruppen
 - a) Aufbißschienen auf den rechten unteren Seitenzähnen befestigt (8 junge und 6 alte Tiere),
 - b) im Oberkiefer und Unterkiefer rechts wiederholt die Zahnkronen der Seitenzähne abgeschliffen (8 junge Tiere),
 - c) rechts eine Kondylektomie durchgeführt (8 junge Tiere),
 - d) ein Kunststoffkeil in den Gelenkspalt des rechten Kiefergelenkes implantiert (8 junge Tiere),
 - e) eine Muskeltransposition des rechten M.masseter und M.pterygoideus medialis durchgeführt -teilweise mit Kontrolloperation auf der Gegenseite - (8 junge Tiere),
 - f) der rechte M.masseter und M.pterygoideus medialis operativ verkürzt -teilweise mit Kontrolloperation auf der Gegenseite- (8 junge Tiere),
 - g) gleichaltrige Kontrolltiere gehalten (8 junge Tiere).

Die Dauer der Versuche beträgt jeweils 9 Wochen.

3. Nach Einsetzen von Aufbißschienen bei jungen Versuchstieren erfolgt der Ausgleich durch mehrere verschiedene Anpassungsveränderungen.

Im Oberkiefer erscheinen auf der belasteten Seite sowohl der zahntragende Kieferknochen gegenüber dem Gesamtschädel, als auch die Zähne gegenüber dem sie umgebenden Alveolarknochen intrudiert, während sich auf der weniger belasteten Gegenseite die Zähne "verlängert" haben. Darüber hinaus sind im Unterkiefer der belasteten Seite Kieferkörper und aufsteigender Ast gegeneinander verschoben.

4. Bei den ausgewachsenen Versuchstieren ist es unter gleichen Bedingungen zu keinen skelettalen Veränderungen an der Mandibula gekommen. Bei der "Versenkung" der belasteten Seitenzähne scheinen im vermehrten Maße die unmittelbar an den Zahn angrenzenden Gewebe betroffen zu sein, während entferntere Knochenstrukturen sich kaum am Ausgleich beteiligen. Der Anpassungsvorgang nimmt längere Zeit in Anspruch. Es werden funktionell minderwertige Anpassungsmechanismen, wie Lateralverschiebung des Unterkiefers beobachtet.
5. Nach wiederholtem Abschleifen der Zahnkronen werden keine wesentlichen Veränderungen am Aufbau des Schädels und der Kiefer festgestellt. Die einzige, wichtige Normabweichung dieser Gruppe besteht in vermindertem vertikalen Wachstum des entlasteten zahntragenden Kieferknochens.
6. Die einseitige Resektion des Kiefergelenkköpfchens bewirkt eine Hypoplasie im Bereich des Kieferwinkels und des aufsteigenden Astes der operierten Seite. Aus dem Abkauungsmuster der Zähne ist auf einen veränderten Kaumechanismus zu schließen, durch den die Seitenzähne der nicht operierten Seite funktionell weniger bean-

sprucht werden. Diese Zähne erscheinen "verlängert".

7. Die durch Implantation eines Kunststoffkeils in den Gelenkspalt erzeugte lokale Belastung führt zu einer Deformierung oder Destruktion des Kondylus. Die sekundären Veränderungen gleichen denen, die nach der Kondylektomie beobachtet wurden.
8. Sowohl nach der Transposition des Ansatzes der beiden großen Kau-muskeln an eine Stelle, die dem Muskelursprung näher liegt, wie nach Kürzung der Muskeln wird ein Wachstumsdefizit im Bereich des Kiefer-winkels festgestellt. Dieselbe Veränderung wird auch durch die Kontroll-operation -Ablösen der Muskeln und Reposition- ausgelöst. Auswirkungen des operativen Eingriffs auf die Zahnreihen, die Gelenke und ihre knöcherne Abstützung sind nicht nachweisbar.
9. Die Bedeutung der Ergebnisse für die Theorie der funktionellen An-passung wird diskutiert.
 - a) Es scheint erwiesen, daß der im Wachstum befindliche Knochen unter Belastung seine Form durch vermehrte bzw. verminderte Apposition an den Knochenoberflächen ändert.
 - b) Der Durchbruchmechanismus der Zähne stellt im Wachstumsalter eine in vertikaler Richtung wirkende aktive Kraft dar, die der eines "Wachstumszentrums" vergleichbar ist. Diese Kraft wird durch die physiologische kaufunktionelle Belastung gebremst. Für den Zahn-durchbruch gilt somit in Annäherung die HÜTER-VOLKMANN'sche Theorie.

- c) Die Knochenapposition am Alveolarrand erfolgt reaktiv unter dem fördernden Einfluß der funktionellen Beanspruchung. Hier hat die Theorie von WOLFF und ROUX Gültigkeit.
- d) Es liegen Anzeichen dafür vor, daß vom Wuchsknorpel des Kiefergelenkes eine, wenn auch geringe, Wachstumskraft ausgeht und der Kondylus somit als "Wachstumszentrum" zu gelten hat. Das Kondylenwachstum wird -entsprechend der HÜTER-VOLKMANN'schen Theorie- durch die normale physiologische Beanspruchung gebremst. Entlastung führt im Wachstumsalter zu einer vermehrten Knochenbildung. Das Wachstum wird gegen eine in physiologischen Grenzen erhöhte Belastung im wesentlichen fortgesetzt. Starke Kräfte führen dagegen zur Gewebszerstörung und damit zum Wachstumsstillstand.
- e) Die Bedeutung des Muskelansatzes für das vermutlich reaktive Knochenwachstum in diesem Bereich ist erwiesen. Es ist weiterhin ungeklärt, wie dieses Wachstum kontrolliert wird.

Schrifttum

- ADLER, P.: Der Einfluß der Zähne, des Kauaktes und der Beweglichkeit auf die Entwicklung des Unterkiefers. Dtsch. zahnärztl. Z. 4, 95 (1949)
- ADLER, P.: Über den Einfluß asymmetrischer Zahnextraktionen auf den wachsenden Kiefer des Hundes. Dtsch. Zahn-Mund-Kieferheilk. 15, 353 (1952)
- ALTMANN, K.: Experimentelle Untersuchungen über mechanische Ursachen der Knochenbildung. Z. Anat. Entwickl.-Gesch. 114, 457 (1949)
- ALTMANN, K.: Untersuchungen über Frakturheilung unter besonderen experimentellen Bedingungen. Z. Anat. Entwickl.-Gesch. 115, 52 (1950)
- ALTMANN, K.: Zur kausalen Histogenese des Knorpels. Ergb. Anat. Entwickl.-Gesch. 37, 1 (1964)
- ANDERSON, B. G., SMITH, A. H., ARNIM, S. S. and ORTEN, A. V.: Changes in molar teeth and their supporting structures of rats following extraction of upper right first and second molars. Yale J. Biol. Med. 9, 189 (1936)
- ANTHONY, M. R.: Etude experimentale de la morphogenie. Modifications craniennes consécutives à l'ablation d'un cratophyte chez le chien et considérations sur le rôle morphogénétique de ce muscle. Bull. Soc. Méd. Paris, 5, 119 (1903)
- ANTHONY, M. R. et PIETKIEWICZ, W. B.: Nouvelles expériences sur le rôle du muscle cratophyte dans la constitution morphologique du crâne de la face. C. R. Acad. Sci. 148, 870 (1909)
- APPLEBAUM, E. and LEVY, H. P.: Changes in the mandibular condyle of mice following the use of orthodontic bite plates. Amer. J. Orthodont. 40, 775 (1954)
- AVANT, F. B., AVERILL, C. J. and HAHN, W. E.: Changes in the temporomandibular joint of rats caused by alterations in the intermaxillary relationship of the teeth. J. dent. Res. 31, 499 (1952)
- AVIS, V.: The significance of the angle of the mandible: an experimental and comparative study. Amer. J. phys. Anthrop. 1, 55 (1951)
- AVIS, V.: The relation of the temporal muscle to the form of the coronoid process. Amer. J. phys. Anthrop. 17, 99 (1959)
- BAER, M. J.: Pattern of growth of the skull as revealed by vital staining. Hum. Biol. 26, 80 (1954)
- BAKER, L. W.: Influence of the forces of occlusion on the development of the bones of the skull. Internat. J. Orth. 8, 259 (1922)

- BAKER, L. W.: The influence of the formative dental organs on the growth of the bones of the face. *Amer. J. Orth.*, 27, 488 (1941)
- BARBER, C. G., GREEN, L. J. and COX, G. J.: Effects of the physical consistency of diet on the condylar growth of the rat mandible. *J. dent. Res.* 42, 848 (1963)
- BASSETT, C. A. L. and BECKER, R. O.: Generation of electric potentials by bone in response to mechanical stress. *Science*, 137, 1063 (1962)
- BAUME, L. J.: Muskelansatz und Knochenwachstum. *Schweiz. Mschr. Zahnheilk.* 65, 18 (1955)
- BAUME, L. J.: Experimentelle Erforschung der Skelett-Morphogenese mit spezieller Berücksichtigung der Schädel-Entwicklung. *Schweiz. Mschr. Zahnheilk.* 67, 673 (1957)
- BAUMRIND, S.: A reconsideration of the propriety of the "pressure-tension" hypothesis. *Amer. J. Orthodont.* 55, 12 (1969)
- BECKER, R.: Die Wachstumsstörungen des Unterkiefers. Hühig, Heidelberg 1966
- BECKER, R.O., BASSETT, C. A. and BACHMAN, C. H.: Bioelectrical factors controlling bone structure. In Frost, H. M.: *Bone Biodynamics*. Little, Brown and Co. Boston 1964
- BENNINGHOFF, A.: Spaltlinien am Knochen, eine Methode zur Ermittlung der Architektur platter Knochen. *Verh. anat. Ges.* 34, 189 (1925)
- BHASKAR, S.N. and ORBAN, B.: Experimental occlusal trauma. *J. Periodont.* 26, 270 (1955)
- BLUNTSCHLI, H.: Rückwirkungen des Kieferapparates auf den Gesamtschädel. *Z. zahnärztl. Orthop.* 18, 57 (1926)
- BLUNTSCHLI, H.: Die Rolle der Kaumuskulatur. *Z. zahnärztl. Orthop.* 21, 132 (1929)
- BOURGERY: zit. b. KUMMER 1959 a
- BOYD, T. G., CASTELLI, W. A. and HUELKE, D. F.: Removal of the temporalis muscle from its origin; effects on the size and shape of the coronoid process. *J. dent. Res.* 46, 997 (1967)
- BRASH, J.C.: The growth of the alveolar bone and its relation to movements of the teeth, including eruption. *Internat. J. Orthodont.* 14, 196, 283, 398, 487 (1928)
- BRASH, J. C.: Some problems on the growth and developmental mechanics of bone. *Edinb. med. J.* 41, 305 und 363 (1934)
- BREITNER, C.: Bone changes resulting from experimental orthodontic treatment. *Amer. J. Orthodont., Oral Surg.* 26, 521 (1940)
- BREITNER, C.: Further investigations of bone changes resulting from experimental orthodontic treatment. *Amer. J. Orthodont., Oral Surg.* 27, 605 (1941)
- BREITNER, C.: The tooth-supporting apparatus under occlusal changes. *J. Periodont.* 13, 72 (1942)

- BRODIE, A. G.: The growth of the jaws and the eruption of the teeth.
Oral. Surg. 1, 334 (1948)
- BRODIE, A. G.: The growth of alveolar bone and the eruption of the teeth.
Oral Surg. 1, 342 (1948)
- CIMASONI, G.: Histopathology of the temporo-mandibular joint following bilateral extractions of molars in the rat. Oral Surg. 16, 613 (1963)
- CIMASONI, G.: Histopathologie de l'articulation mandibulo-temporale chez le rat ayant subi l'extraction totale des molaires supérieures. Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 73, 767 (1963)
- CIMASONI, G. and BECKS, H.: Growth study of the rat mandible related to function. Angle Orthodont. 33, 27 (1963)
- CLEALL, J. F., PERKINS, R. E. and GILDA, J. E.: Bone marking agents for the longitudinal study of growth in animals. Arch. Oral Biol. 9, 627 (1964)
- CULMANN, K.: Die graphische Statik. Bd. 1, Zürich 1. Aufl. 1866
- DAS, A., MEYER, J. and SICHER, H.: X-ray and alizarin studies on the effect of bilateral condylectomy in the rat. Angle Orthodont. 35, 138 (1965)
- DIAMOND, M.: The development of the dental height. Amer. J. Orthodont. 30, 589 (1944)
- DIAMOND, M.: The patterns of growth and development of the human teeth and jaws. J. dent. Res. 23, 273 (1944)
- DOKLÁDAL, M.: Versuch einer experimentellen Beeinflussung der Schädelform bei Ratten. Scr. med. Fac. Med. Brun. 37, 105 (1964)
- DOTTO, C. A., CARRANZA, F. A. y ITOIZ, M. E.: Efectos mediatos del trauma experimental en ratas. Rev. Asoc. Odont. Argent. 54, 48 (1966)
- DUERST, J. U.: Vergleichende Untersuchungsmethoden am Skelett bei Säugern. In: Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, hrsg. v. Abderhalden, Abt. VII, Heft 2, S. 125 Berlin/Wien 1930-38
- EHRLICHER, F.: Pathologische Veränderungen des Kiefergelenks nach einseitigem Verlust der gesamten Stützzone im Unterkieferseitenzahnbereich des Goldhamsters. Med. Diss. Erlangen 1968
- ENLOW, D. H.: Wolff's law and the factor of architectonic circumstance. Amer. J. Orthodont. 54, 803 (1968)
- ENLOW, D. H. and HARRIS, D. B.: A study of the postnatal growth of the human mandible. Amer. J. Orthodont. 50, 25 (1964)
- EPKER, B. N. and FROST, H. M.: Correlation of bone resorption and formation with the physical behavior of loaded bone. J. dent. Res. 44, 33 (1965)

- EPKER, B. N. and FROST, H. M.: Biomechanical control of bone growth and development: a histologic and tetracycline study. *J. dent. Res.* 45, 364 (1966)
- ESCHLER, J.: Form und Funktion im Kausystem. *Fortschr. Kieferorthop.* 24, 247 (1963)
- FICK, L.: Über die Ursachen der Knochenformen. Wigand, Göttingen 1857
- FINDLAY, J. A.: Mandibular joint pressures. *J. dent. Res.* 43, 140 (1964)
- FLOURENS, M. J. P.: Théorie expérimentale de la formation des os. Paris 1847
- FURSTMAN, L.: The effect of loss of occlusion upon the mandibular joint. *Amer. J. Orthodont.* 51, 245 (1965)
- GALILEI: zit. b. KUMMER 1959 a
- GEBHARDT, W.: Über quantitative und qualitative Verschiedenheiten in der Reaktion des Knochengewebes auf mechanische Einwirkungen. *Anat. Anz. Erg. H.* 21, 65 (1902)
- GIANELLY, A. A. and MOORREES, C. F. A.: Condylectomy in the rat. *Arch. oral Biol.* 10, 101 (1965)
- GLICKMAN, J. and WEISS, L. A.: Role of Trauma from occlusion in initiation of periodontal pocket formation in experimental animals. *J. Periodont.* 26, 14 (1955)
- GLUCKSMANN, A.: The role of mechanical stresses in bone formation in vitro. *J. Anat., London* 76, 231 (1942)
- GOTTLIEB, B. und ORBAN, B.: Die Veränderungen der Gewebe bei übermäßiger Beanspruchung der Zähne. Georg Thieme, Leipzig 1931
- GOTTLIEB, B. and ORBAN, B.: Tissue changes in experimental traumatic occlusion, with special reference to age and constitution. *J. dent. Res.* 11, 505 (1931)
- GRAUMANN, W.: Topogenese der Bindegewebsknochen. Untersuchungen an Schädelknochen menschlicher Embryonen. *Z. Anat. Entwickl.-Gesch.* 116, 14 (1951)
- GREGG, J. M.: Immobilization of the erupting molar in the syrian hamster. *J. dent. Res.* 44, 1219 (1965)
- GYSI, A.: Studies on the leverage problem of the mandible. *Dent. Dig.* 27, 74, 144 und 203 (1921)
- HÄUPL, K.: Gewebsumbau und Zahnverdrängung in der Funktions-Kieferorthopädie. Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1938
- HÄUPL, K.: Kieferorthopädischer Gewebeumbau und Muskelreiz. *Fortschr. Kieferorthop.* 16, 52 (1955)

- HÄUPL, K.: Über die Ergebnisse der Züchtung von Knochenkeimgewebe in der Gewebekultur und ihre Bedeutung für die Erklärung des kieferorthopädischen Knochenumbaus. Dtsch. zahnärztl. Z. 13, 707 (1958)
- HÄUPL, K.: Über Grundlagen und praktisches Vorgehen in der neuzeitlichen kieferorthopädischen Therapie. Dtsch. zahnärztl. Z. 15, 211 (1960)
- HÄUPL, K. und PŠANSKY, R.: Histologische Untersuchungen über die Wirkungsweise der in der Funktions-Kiefer-Orthopädie verwendeten Apparate (Aktivatoren). Fortschr. Orthodont. 7, 54, 133 und 161 (1938)
- HÄUPL, K. und PŠANSKY, R.: Experimentelle Untersuchungen über Gelenktransformation bei Verwendung der Methoden der Funktionskieferorthopädie. Fortschr. Orthodont. 8, 103 (1939)
- HAYES, A. M.: Changes in the mandibular fossa of the rat following unilateral condylectomy. J. Canad. dent. Ass. 27, 647 (1961)
- HERRMANN, M.: Über das Wachstum der Nagezähne bei Ratten, Meerschweinchen und Kaninchen. Dtsch. Zahn-, Mund- u. Kieferheilk. 18, 30, (1953)
- HERZBERG, F. and SARNAT, B. G.: Radiographic changes in the bony trabecular pattern in the mandible of growing Macaca Rhesus monkeys following condylar resection. Anat. Rec. 144, 129 (1962)
- HOFFER, O., GIANNI, E., RESTELLI, E. und SCOLARI, G.: Le alterazioni tissutali dell'Articolazione Temporomandibolare a seguito della variazione della dimensione verticale nell'esperimento animale. Fortschr. Kieferorthop. 25, 335 (1964)
- HOFFER, O., GIANNI, E., HOFFER, E., RESTELLI, E. und SCOLARI, G.: Zahnbewegungen in vertikaler Richtung mittels orthodontischer Maßnahmen im Tierexperiment. Fortschr. Kieferorthop. 27, 141 (1966)
- HOROWITZ, S.L. and SHAPIRO, H. H.: Modifications of mandibular architecture following removal of temporalis muscle in the rat. J. dent. Res. 30, 276 (1951)
- HOROWITZ, S.L. and SHAPIRO, H. H.: Modification of skull and jaw architecture following removal of the masseter muscle in the rat. Amer. J. phys. Anthropol. 13, 301 (1955)
- HOWELL, J. A.: An experimental study of the effect of stress and strain on bone development. Anat. Rec. 13, 233 (1917)
- HOYTE, D. A.N. and ENLOW, D. H.: Wolff's law and the problem of muscle attachment on resorptive surfaces of bone. Amer. J. phys. Anthropol. 24, 205 (1966)
- HÜTER, C.: Anatomische Studien an den Extremitätengelenken Neugeborener und Erwachsener. Virchow's Arch. path. Anat. 25, 572 (1862) u. 26, 484 (1863)

HUMPHRY; zit. b. KUMMER 1959 a

ITOIZ, M. E., CARRANZA, F. A. and CABRINI, R.L.: Histologic and histometric study of experimental occlusal trauma in rats. J. Periodont. 34, 305 (1963)

JARABAK, J. R.: Regeneration of the mandibular condyle in the rat. J. dent. Res. 29, 692 (1950)

JARABAK, J. R.: The regeneration of the mandibular condyle following bilateral resection. J. dent. Res. 30, 491 (1951)

JARABAK, J. R. and THOMPSON, J. R.: Growth of the mandible of the rat following bilateral resection of the mandibular condyles. J. dent. Res. 30, 492 (1951)

JARABAK, J. R. and GRABER, T. M.: Growth of the upper face following bilateral condylar resection. J. dent. Res. 30, 491 (1951)

JARABAK, J. R. and STUTEVILLE, O.: Bilateral mandibular condylar resection. J. dent. Res. 31, 509 (1952)

JARABAK, J. R. and KAMINS, M.: Masseter muscle in condylar regeneration of the rat. J. dent. Res. 31, 509 (1952)

JARABAK, J. R. and VEHE, K.: Condylar regeneration in the rat. J. dent. Res. 31, 510 (1952)

JOES, L.: Experimentelle Untersuchungen über die Einwirkung mechanischen Druckes auf den Knochen. Beitr. path. Anat. 66, 453 (1920)

KANTACK, G. R.: Regeneration of the condyle in the pig. Amer. J. Orthodont. 52, 705 (1966)

KLAPPER, L. and HENRIQUES, B. L.: Electrical stimulation of appositional bone formation in the rat calvaria. I. A. D. R. (Abstr.) Nr. 359 (1970)

KORKHAUS, G.: Erbmasse und Umwelt im Aufbau des Gesichtsschädels. Fortschr. Kieferorthop. 13, 97 (1952)

KORKHAUS, G.: Growth and development problems. J. dent. Res. 42, 373 (1963)

KOSKI, K.: Cranial growth centers: Facts or fallacies? Amer. J. Orthodont. 54, 566 (1968)

KROMPECHER, S.: Experimentelle Beeinflussung der Art der regenerativen Knochenbildung durch mechanische Einwirkungen. Abdruck aus Verh. anat. Ges. auf der 43. Vers. in Jena v. 25.-28. August 1935/36

KROMPECHER, S.: Die Knochenbildung. G. Fischer, Jena 1937

KROMPECHER, S.: Die Beeinflussbarkeit der Gewebsdifferenzierung der granulierenden Knochenoberflächen insbesondere die der Callusbildung. Langenbeck's Arch. klin. Chir. 281, 472 (1956)

- KROMPECHER, S.: Die qualitative Adaptation der Gewebe. Z. mikr.-anat. Forsch. 64, 59 (1958)
- KROMPECHER, S.: Form und Funktion in der Biologie. Akad. Verl.-Ges. Geest u. Portig, Leipzig 1966
- KUMMER, B.: Bauprinzipien des Säugerskeletes. Georg Thieme, Stuttgart 1959
- KUMMER, B.: Biomechanik des Säugetierskelets. Handbuch der Zoologie, Hrsg. J. G. Helmcke, H. v. Lengerken und D. Starck, 6, 1 (1959)
- LANDSBERGER, R.: Der Einfluß der Zähne auf die Entwicklung des Schädels. Arch. Anat. Physiol. 35, 433 (1911)
- LANDSBERGER, R.: Histologic research concerning the growth of the alveolar process and its relation to the development of the tooth germ. Dent. Cosmos 66, 1334 (1924)
- LESSHAFT, P.: Über die Ursachen, welche die Form der Knochen bedingen. Virchow's Arch. path. Anat. 87, 262 (1882)
- LODER: zit. b. KUMMER 1959 a
- MEYER, H.: Die Architectur der Spongiosa. Arch. Anat. . Physiol. 34, 615 (1867)
- MEYER, J., SCHNEIDER, B. J. and DAS, A. K.: Experimental studies on the inter-relations of condylar growth and alveolar bone formation II. Effect of growth hormone. Angle Orthodont. 37, 309 (1967)
- MITTENECKER, E.: Planung und statistische Auswertung von Experimenten 4. Aufl. Franz Deuticke, Wien 1963
- MOSS, M.: Functional analysis of human mandibular growth. J. prosth. Dent. 10, 1149 (1960)
- MOSS, M. L.: Functional cranial analysis of mammalian mandibular ramal morphology. Acta Anat. 71, 423 (1968)
- MOSS, M. L.: The primary role of functional matrices in facial growth. Amer. J. Orthodont. 55, 566 (1969)
- MOTSCH, A.: Besitzt der menschliche Unterkiefer eine trajektorielle Struktur? Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 1381 (1968)
- MÜHLEMANN, H. R. und HERZOG, H.: Tooth mobility and microscopic tissue changes produced by experimental occlusal trauma. Helv. Odont. Acta 5, 33 (1961)
- MÜLLER, G.: Funktion und Volumen. Fortschr. Kieferorthop. 24, 276 (1963)
- MÜLLER, W.: Die normale und pathologische Physiologie des Knochens (Experimentelle Orthopädie). Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1924
- MURRAY, P. D. F.: Bones. Cambridge University Press, London 1936

- NANDA, S.K., MEROW, W.W. and SASSOUNI, V.: Repositioning of the masseter muscle and its effect on skeletal form and structure. *Angle Orthodont.* 37, 304 (1967)
- NENNINGER, H.: Ein Beitrag zur Statik des Gebißaufbaues. *Zahnärztl. Welt* 62, 45 (1961)
- NESS, A. R.: Eruption rates of impeded and unimpeded mandibular incisors of the adult laboratory mouse. *Arch. oral Biol.* 10, 439 (1965)
- NEUBAUER, G.: Experimentelle Untersuchungen über die Beeinflussung der Schädelform. *Z. Morph. Anthropol.* 23, 411 (1925)
- NIKITJUK, B. A.: Experimentell-morphologische Untersuchungen über die Bedeutung der Kaufunktion bei der Gestaltbildung des Säugetierschädels. *Dtsch. Zahn-Mund-u. Kieferheilk.* 50, 465 (1968)
- OPPENHEIM, A.: Artificial elongation of teeth. *Amer. J. Orthodont.*, *Oral Surg.* 26, 931 (1940)
- ORBAN, B.: Experimentelle traumatische Okklusion. *Öst. Z. Stomat.* 55, 239 (1958)
- PAUWELS, F.: Grundriß einer Biomechanik der Frakturheilung. *Verh. dtsch. orthop. Ges.* 34, 62 (1940)
- PAUWELS, F.: Die Bedeutung der Muskelkräfte für die Regelung der Beanspruchung des Röhrenknochens während der Bewegung der Glieder. *Z. Anat. Entwickl.-Gesch.* 115, 327 (1950)
- PAUWELS, F.: Die statische Bedeutung der Linea aspera. *Z. Anat. Entwickl.-Gesch.* 117, 497 (1954)
- PAUWELS, F.: Eine neue Theorie über den Einfluß mechanischer Reize auf die Differenzierung der Stützgewebe. *Z. Anat. Entwickl.-Gesch.* 121, 478 (1960)
- PRATT, L.W.: Experimental masseterectomy in the laboratory rat. *J. Mammalogy*, 24, 204, (1943)
- PREISSECKER, O.: Beeinflussung des Periodontiums durch experimentelle Entlastung. *Z. Stomat.* 29, 442, (1931)
- REBEL, H.-H.: Über das Wesen der Knochenbildung und des Knochenbaues. *Dtsch. zahnärztl. Z.* 12, 713 (1957)
- ROBINSON, M.: Temporomandibular joint: theory of reflex controlled nonlever action of the mandible. *J. Amer. dent. Ass.* 33, 1260 (1946)
- ROGERS, W. M.: Experimental changes similar to asymetry observed in bulbar polio in the skull and mandible of monkey following trigeminal lesions. *Anat. Rec.* 121, 357 (1955)
- ROSEN, M.D., BUTCHER, E.O. and SILVERMAN, S. I.: Muscle and skull developmental changes in dogs with induced unilateral anodontia. *Oral Surg.* 20, 672 (1965)

- ROUX, W.: Der Kampf der Teile im Organismus. W. Engelmann, Leipzig 1881
- ROUX, W.: Functionelle Anpassung. Encyclopädische Jahrbücher 4, 14 (1894)
- ROUX, W.: Gesammelte Abhandlungen über Entwicklungsmechanik der Organismen. Engelmann, Leipzig 1895
- ROYDHOUSE, R. H.: The temporomandibular joint: upward force of the condyles on the cranium. J. Amer. dent. Ass. 50, 166 (1955)
- RUMMEL, G.: Über den Einfluß der Kaumuskelausschaltung auf die Kiefer- und Schädelbildung. Z. zahnärztl. Orthop. 20, 60 (1928)
- SARNAT, B. G.: Facial and neurocranial growth after removal of the mandibular condyle in the Macaca Rhesus monkey. Amer.J. Surg. 94, 19 (1957)
- SARNAT, B. G. and ENGEL, M. B.: A serial study of mandibular growth after removal of the condyle on the Macaca Rhesus monkey. Plast. Reconstruct. Surg. 7, 364 (1951)
- SCHMIDHUBER, K. F.: Experimentelle Untersuchungen über den Anteil der Zähne und des Kiefergelenkköpfchens am Längenwachstum des Unterkiefers des Hundes. Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 48, 1025 und 1105 (1930)
- SCHNEIDER, B.J. and MEYER, J.: Experimental studies on the interrelations of condylar growth and alveolar bone formation. Angle Orthodont. 35, 187 (1965)
- SCHOUR, I. and MEDAK, H.: Experimental increase in the rate of eruption and growth of rat incisor by eliminating attrition. J. dent. Res. 30, 521 (1951)
- SCHREIBER, H.: Kaumuskelentfernung und Schädelwachstum. Anat. Anz. 87, 438 (1938/39)
- SCHREIBER, S., MOTSCH, A. und GRÖNEWALD, J.: Statik des Alveolarfortsatzes. Modellexperimentelle Untersuchungen mit Hilfe der Spannungsoptik. Dtsch. zahnärztl. Z. 25, 36 (1970)
- SCHUMACHER, G.H.: Funktionelle Morphologie der Kaumuskulatur. VEB Gustav Fischer, Jena 1961
- SCHUMACHER, G. H.: Sekundäre Veränderungen am maxillo-mandibulären Apparat nach Kaumuskelresektionen. Dtsch. Zahn-Mund-Kieferheilk. 41, 1 und 110 (1964)
- SCHUMACHER, G.H.: Bemerkungen zu den "Experimentell-morphologischen Untersuchungen über die Bedeutung der Kaufunktion bei der Gestaltbildung des Säugetierschädels "Nikitjuks". Dtsch. Zahn-Mund-Kieferheilk. 50, 480 (1968)
- SCHUMACHER, G.H.: Der maxillo-mandibuläre Apparat unter dem Einfluß formgestaltender Faktoren. Nova Acta Leopoldiana. Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1968
- SCHUMACHER, G. H. und REHMER, H.: Morphologische und funktionelle Untersuchungen an der Kaumuskulatur von Oryctolagus und Lepus. Morph. Jb. 100, 678 (1960)

- SCHUMACHER, G.H. und REHMER, H.: Skundäre Veränderungen am Kieferapparat des Kaninchens (*Oryctolagus cuniculus* L.) nach Zahnextraktionen. *Anat. Anz.* 114, 141 (1964)
- SCOTT, J. H.: Muscle growth and function in relation to skeletal morphology. *Amer. J. phys. Anthropol.* 15, 197 (1957)
- SEWARD, T.: The anatomical basis of occlusion. *Angle Orthodont.* 8, 39 (1938)
- SICHER, H.: Tooth eruption: Axial movement of teeth with limited growth. *J. dent. Res.* 21, 395 (1942)
- SICHER, H.: The growth of the mandible. *J. Periodont.* 16, 87 (1945)
- SICHER, H.: The growth of the mandible. *Amer. J. Orthodont., Oral Surg.* 33, 30 (1947)
- SICHER, H. and WEIMANN, J. P.: Bone growth and physiologic tooth movement. *Amer. J. Orthodont., Oral Surg.* 30, 109 (1944)
- SKINAZI, G. L.S.: Etudes de mecanique experimentale sur la denture du rat. *Rev. Franc. Odontostomat.* 14, 109, 261 und 387 (1967)
- STEINHARDT, G.: Untersuchungen über die Beanspruchung der Kiefergelenke und ihre geweblichen Folgen. *Dtsch. Zahnheilk.*, Heft 91, Verlag Thieme Leipzig 1934
- STEINHARDT, G.: Die Bedeutung der funktionellen Einflüsse für die Entwicklung und Formung der Kiefergelenke. *Dtsch. Zahn-Mund-Kieferheilk.* 2, 711 (1935) u. 3, 173 (1936)
- STEINHARDT, G.: Zur Belastung der Kiefergelenke. *Zahnärztl. Rdsch.* 48, 1121 (1939)
- STEINHARDT, G.: Stellungnahme zu den Möglichkeiten und Auswirkungen kieferorthopädischer Maßnahmen an jugendlichen Kiefern. *Fortschr. Orthodont.* 8, 120 (1939)
- TAYLOR, A.C. and BUTCHER, E. O.: The regulation of eruption rate in the incisor teeth of the white rat. *J. exp. Zool.* 117, 165 (1951)
- TOLDT, K.: Der Winkelfortsatz des Unterkiefers beim Menschen und bei Säugetieren und die Beziehungen der Kaumuskulatur zu demselben. *Sitzber. K. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturw. Kl., III, Abt.* 113, 43 (1904) und 114, 315 (1905)
- TRAGE, R.: Pathologische Veränderungen des Kiefergelenkes nach Bißerhöhung der gesamten Stützzone in einem Seitenzahnbereich beim Meerschweinchen. *Dtsch. zahnärztl. Z.* 25, 903 (1970)
- ULLMAN, G.A., MEYER, J. and SCHNEIDER, B.J.: Experimental studies on the interrelations of condylar growth and alveolar bone formation. 3. Response to relief of occlusion in aged rats. *Angle Orthodont.* 39, 83 (1969)

- VASILEVSKAJA, S. F.: Die Auswirkungen des erhöhten Kaudruckes auf die Milch-Stützzähne und auf die Keime bleibender Zähne.
Ref. Dtsch. Zahn-Mund-Kieferheilk. 26, 320 (1957)
- VIRCHOW, R.: Über Bildung und Umbildung von Knochengewebe im menschlichen Körper. Berl. klin. Wschr. 12, 1 u. 13 (1875)
- VOLKMANN, R.: Chirurgische Erfahrungen über Knochenverbiegungen und Knochenwachstum. Virchow's Arch. path. Anat. 24, 512 (1862)
- WAERHAUG, J. and HANSEN, E. R.: Periodontal changes incident to prolonged occlusal overload in monkeys. Acta odont. Scand. 24, 91 (1966)
- WALKHOFF, O.: Beiträge zur Theorie und Praxis der orthodontischen Maßnahmen und deren Beziehungen zur Entwicklungsmechanik der Kiefer.
Dtsch. Zahnheilk. H. 69, Georg Thieme, Leipzig 1927
- WARD, F.O.: Outlines of human osteology. London 1838
- WASHBURN, S.L.: The effect of facial paralysis on the growth of the skull of rat and rabbit. Anat. Rec. 94, 163 (1946)
- WASHBURN, S.L.: The relation of the temporal muscle to the form of the skull.
Anat. Rec. 99, 239 (1947)
- WATT, D.G., WILLIAMS, CH. H. M.: The effect of the physical consistency of food on the growth and development of the mandible and the maxilla of the rat. Amer. J. Orthodont. 37, 895 (1951)
- WEBER-THEDY, K.-W.: Kritischer Beitrag zur Artikulationslehre. Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 1266 (1962)
- WEIDENREICH, F.: Über formbestimmende Ursachen am Skelett und die Erbllichkeit der Knochenform. Wilhelm Roux'Arch. Entwickl.-Mech. Org. 51, 436 (1922)
- WEIDENREICH, F.: Über die Beziehungen zwischen Muskelapparat und Knochen und den Charakter des Knochengewebes. Anat. Anz. Erg. H. 55, 28 (1922)
- WEINMANN, J. P. and SICHER, H.: Bone and Bones. C. V. Mosby, St. Louis 1947
- WEISS, P.: Morphodynamik. Ein Einblick indie Gesetze der organischen Gestaltung an Hand von experimentellen Ergebnissen. Abh. Ther. Biol. 23, 1 (1926)
- WEISS, P.: Erzwingung elementarer Strukturverschiedenheiten am in vitro wachsenden Gewebe. Wilhelm Roux'Arch. Entwickl.-Mech. Org. 116, 438 (1929)
- WELCKER, H.: Untersuchungen über Wachstum und Bau des menschlichen Schädels.
W. Engelmann, Leipzig 1862
- WENTZ, F. M., JARABAK, J. and ORBAN, B.: Experimental occlusal trauma imitating cuspal interferences. J. Periodont. 29, 117(1958)

WETZEL, G. und SCHRÖDER, B.: Der Sicherheitsgrad im Bau des Gesichtsgerüsts gegenüber dem Kaudruck. Wilhelm Roux Arch. Entwickl.-Mech. Org. 105, 120 (1925)

WHITELEY, A. T., KENDRICK, G.S. and MATTHEWS, J. L.: The effects of function on osseous and muscle tissues in the craniofacial area of the rat. Angle Orthodont. 36, 13 (1966)

WILSON: zit. b. ROYDHOUSE 1955

WINKLER, R.: Der funktionelle Bau des menschlichen Kieferapparates, Teil 1: Die Gesetze der Statik und ihre Anwendung auf den Kieferapparat. Dtsch. Zahnheilk. H. 55, 84 (1922)

WINKLER, R.: Über Wachstum und Formbildung des menschlichen Kieferapparates. Vjschr. f. Zahnheilk. 39, 541 (1923)

WOLFF, J.: Das Gesetz der Transformation der Knochen. A. H. Hirschwald, Berlin 1892

ZIELINSKY, W.: Das Wachstum der Kiefer und Zähne und ihre Beziehungen zur Kaufunktion. Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 26, 804 (1908)

ZSCHOKKE, E.: Untersuchungen über das Verhältnis der Knochenbildung zur Statik und Mechanik des Vertebratenskelettes. Zürich 1892

Nachtrag:

FRANKE, J.: Über die Okklusallwanderung der Zähne des Menschen; zugleich ein Beitrag zum Problem des Zahndurchbruches. Dtsch. Zahn-, Mund- u. Kieferheilk. 18, 97 (1953).

ESCHLER, J. und HÄUPL, K.: Die Drucktheorie FLOUREN's vor dem Forum tierexperimenteller Untersuchungen. Z. Stomat. 38, 423 (1940).

REITAN, K.: Initial tissue reaction incident to orthodontic tooth movement as related to the influence of function. Acta odont. scand. 9, Suppl. (1951).

ANHANG

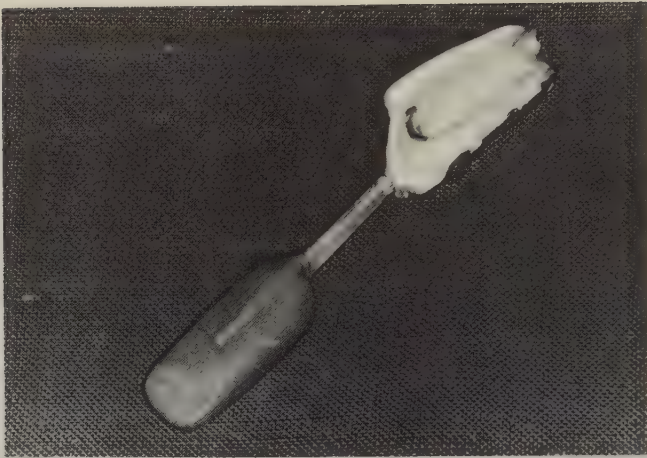


Abb. 1: Abdruck von den rechten unteren Seitenzähnen eines Kaninchens

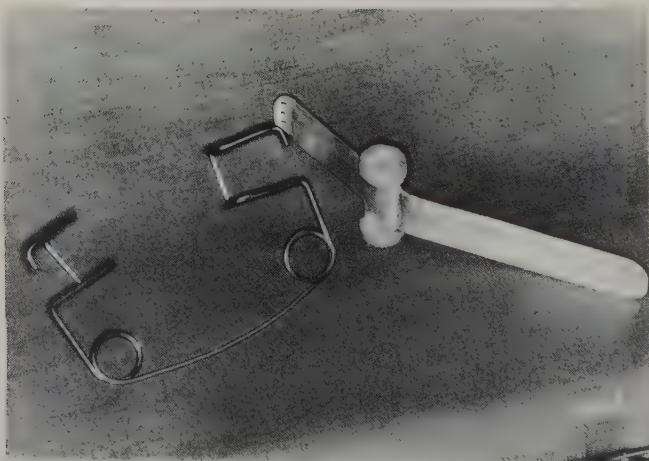


Abb. 2: Hilfsgeräte zur Erleichterung der Arbeiten im Mund der Tiere: ein Spatel zum gleichzeitigen Sperren der Kiefer und Abhalten der Zunge (rechts) und eine Spreize aus elastischem Stahldraht zum Abhalten der Lippen und Wangen (links).

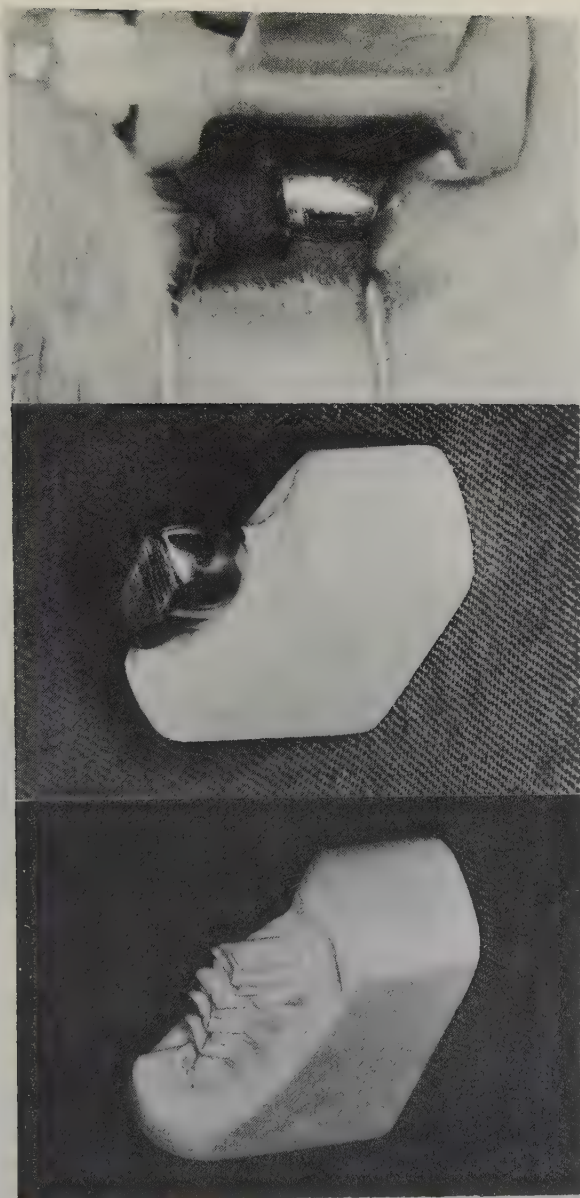
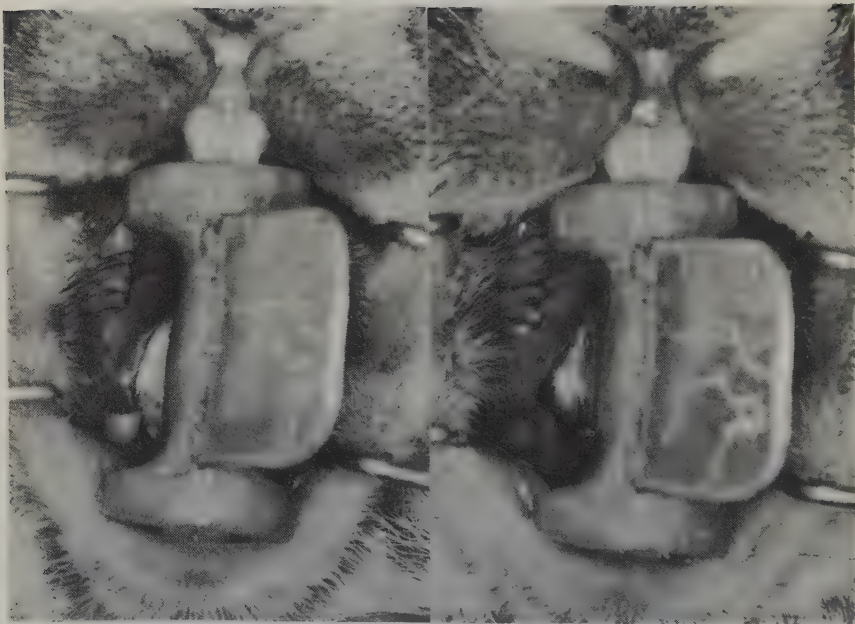


Abb. 3: Herstellung der Aufbißschienen: das Gipsmodell (links), die gegossenen Schiene (Mitte), die Aufbißschiene nach dem Aufzementieren auf die rechten unteren Seitenzähne (rechts).

SEITEN-
ZÄHNE



vorher

nachher

Abb. 4: Mundaufnahmen vor und nach dem Abschleifen der rechten Seitenzähne.
Die Zahnkronen wurden im Oberkiefer und Unterkiefer bis zum Zahn-
fleischrand abgeschliffen.

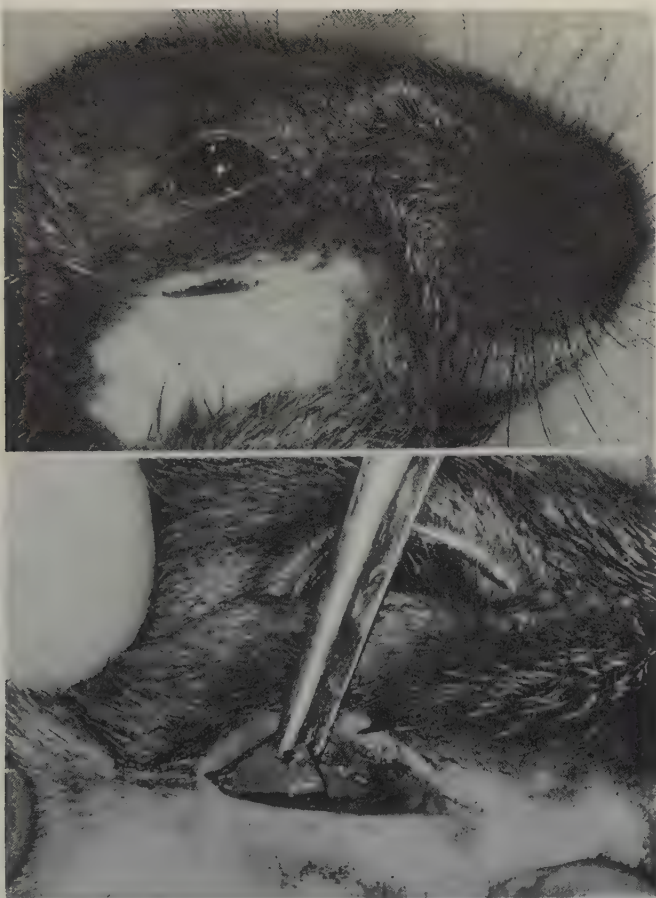


Abb. 5: Schnittführung für die operativen Eingriffe am Kiefergelenk. Der Schnitt verläuft horizontal über dem Jochbogen (oben). Nach Darstellung des Jochbogens wird der rückwärtige Fortsatz des Arcus zygomaticus reseziert (unten).

Kondylus



Abb. 6: Kondylektomie. Der Kondylus wird dargestellt, mit der Lindemann-Fräse durchtrennt und entfernt.

Kunststoff-
keil —

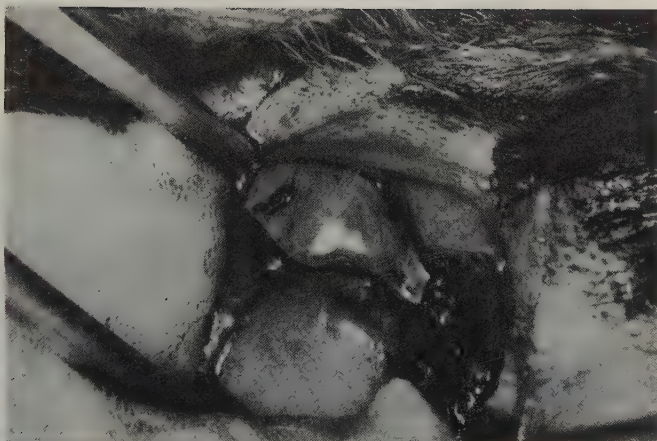
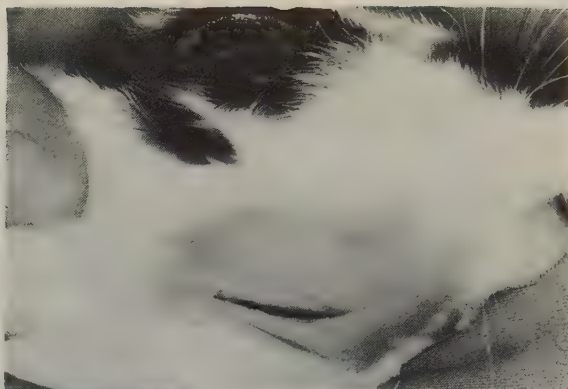
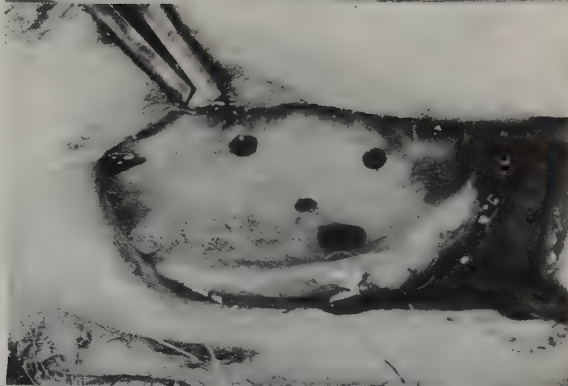


Abb. 7: Implantation eines Kunststoffkeils in den Gelenkspalt des Kiefergelenks.
Der Keil ist so geformt, daß er in der Gelenkrille einrastet.

Schnitt am
Kieferwinkel



Kieferwinkel
Muskulatur abgelöst



Unterkieferrand



Abb. 8: Schnittführung für die operativen Eingriffe an den Kaumuskeln (oben).

Bei der Muskeltransposition werden der M. masseter und der M. pterygoideus medialis vom Kieferwinkel abgelöst. 2 cm vom Kieferrand entfernt werden Bohrlöcher gesetzt (Mitte). Die Muskelränder werden in der neuen Position fixiert (unten).

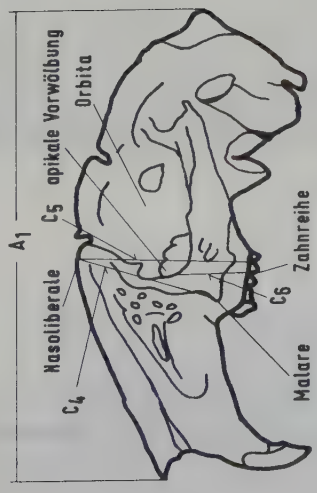


Abb. 9: Muskelkürzung. Der M. masseter und der M. pterygoideus medialis werden von ihrer Ansatzstelle abgelöst. Die freien Muskelränder werden um ca. 1 cm gekürzt und am Kieferwinkel wieder fixiert.

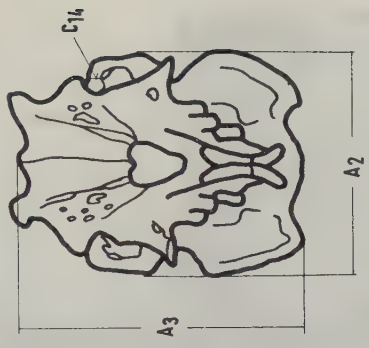
Abb. 10: Die Meßstrecken für die kephalometrische Untersuchung. Die Festlegungen entsprechen teilweise jenen von DUERST (zit. bei SCHUMACHER und REHMER 1964)

A ₁	= Schädellänge	U ₁	= Abstand Infradentale – mesialer Alveolarrand von M ₁
A ₂	= Schädelbreite	U ₂	= Abstand Infradentale – distaler Alveolarrand von M ₅
A ₃	= Schädelhöhe	U ₃	= Höhe der Zahnkrone von M ₁
		U ₄	= Höhe des Kieferkörpers bis zum mesialen Alveolarrand von M ₁
C ₁	= Abstand Prosthion – vorspringendster rostraler Punkt der Gaumenplatte	U ₅	= Höhe der Zahnkrone von M ₃
C ₂	= Gaumenlänge	U ₆	= Höhe des Kieferkörpers bis zum bukkalen Alveolarrand von M ₃
C ₃	= Abstand Gaumenplatte – Vorderrand des Foramen magnum	U ₇	= Dicke des Unterkieferkörpers in der Gegend von M ₃
C ₄	= Abstand Nasoliberale – Malare	U ₈	= Höhe des Kieferkörpers bis zum distalen Alveolarrand von M ₅
C ₅	= Abstand Nasoliberale – Kauflächen der Seitenzähne	U ₉	= Abstand präanguläre Einziehung – caudaler Vorsprung des Processus angularis
C ₆	= Abstand Kauflächen der Seitenzähne – apikale Vorwölbungen in der Orbita	U ₁₀	= Abstand distaler Alveolarrand von M ₅ – Hinterrand des aufsteigenden Astes
C ₇	= Abstand Prosthion – Malare	U ₁₁	= Abstand distaler Alveolarrand von M ₅ – mesiale Kante des Gelenkköpfchens
C ₈	= Abstand Malare – Einziehung am Jochbogen	U ₁₂	= Höhe des gesamten aufsteigenden Astes
C ₉	= größte Länge des durch den Jochbogen eingeschlossenen Raumes	U ₁₃	= Breite des Kiefergelenkköpfchens
C ₁₀	= Abstand Malare – vorspringendster rostraler Punkt der Gaumenplatte		
C ₁₁	= Abstand Alveolarrand des 3. Molaren – Gaumennaht		
C ₁₂	= Abstand Fossa pterygopalatina – Jochbogen		
C ₁₃	= Breite der Gelenkkrille		
C ₁₄	= Dicke der über der Gelenkkrille befindlichen Knochenpartie		

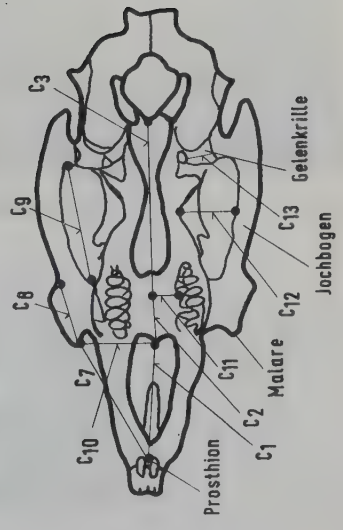
Kaninchenschädel von der Seite



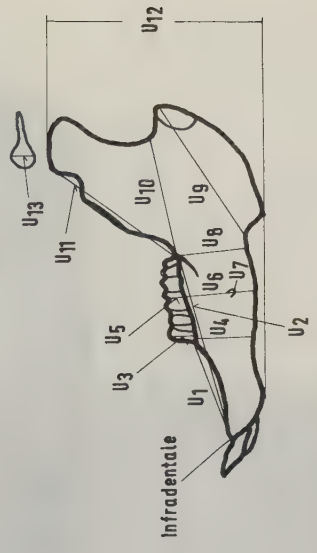
Kaninchenkopf von vorne



Kaninchenschädel von unten



Kaninchenunterkiefer von der Seite



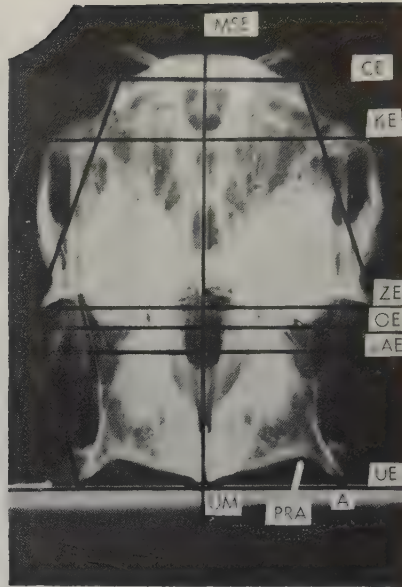


Abb 11: Frontale Fernröntgenaufnahme eines Schädels der Kontrollgruppe.

Zeichenerklärung:

- MSE = Mediansagittalebene
- CE = Cranial-Ebene
- KE = Kondylen-Ebene
- ZE = Zygion-Ebene
- OE = Okklusal-Ebene
- uAE = untere Alveolarrand-Ebene
- UE = Unterkiefer-Ebene

- UM = Unterkiefer-Mitte
- PRA = Präanguläre Einziehung
- A = Angulus

In einigen der folgenden Fernröntgenbilder ist eine weitere Ebene eingezeichnet, die normalerweise fast mit der Okklusal-Ebene zusammenfällt

oAE = obere Alveolarrand-Ebene

Aufbiß-
schiene



RECHTS



LINKS

RECHTS

LINKS

Abb. 12: Vorderansicht und frontale Fernröntgenaufnahme des Präparates Nr. 395. Bei diesem Versuchstier (jung) wurde eine Aufbißschiene auf den rechten unteren Seitenzähnen befestigt.



Abb. 13: Verschiedene Ansichten des Präparates Nr. 23 mit deutlich sichtbarer Schädelasymmetrie. Bei diesem (jungen) Versuchstier wurde auf der rechten unteren Seitenzahnreihe eine Aufbißschiene befestigt.

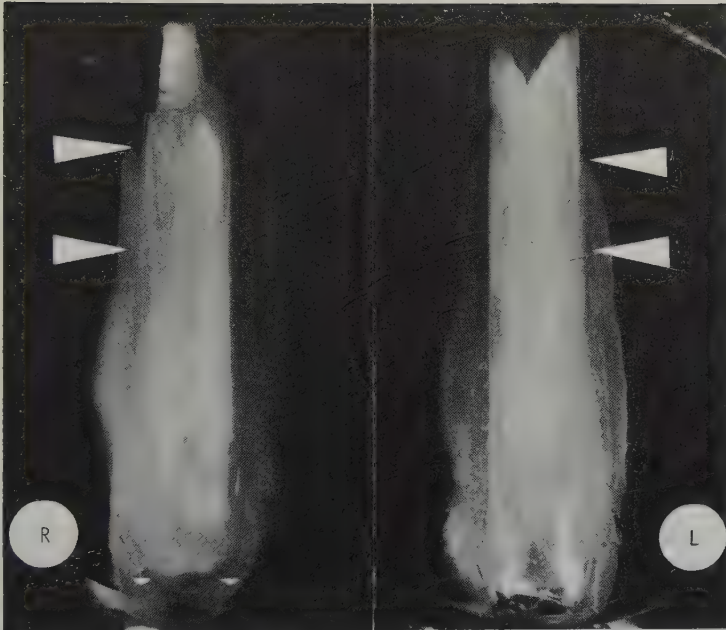


Abb. 14: Schliffpräparate von Querschnittsproben aus der Mandibula (Nr. 23) in Höhe des zweiten Molaren. Es wurde eine Vitalmarkierung mit Alizarin-Rot-S vorgenommen. Die Knochenapposition am Alveolarrand, die während der Versuchsdauer stattgefunden hat (zwischen den Pfeilen) ist auf beiden Seiten nicht wesentlich verschieden. Das (junge) Versuchstier trug eine Aufbißschiene auf den rechten unteren Seitenzähnen.



19



388



23



399



50



396

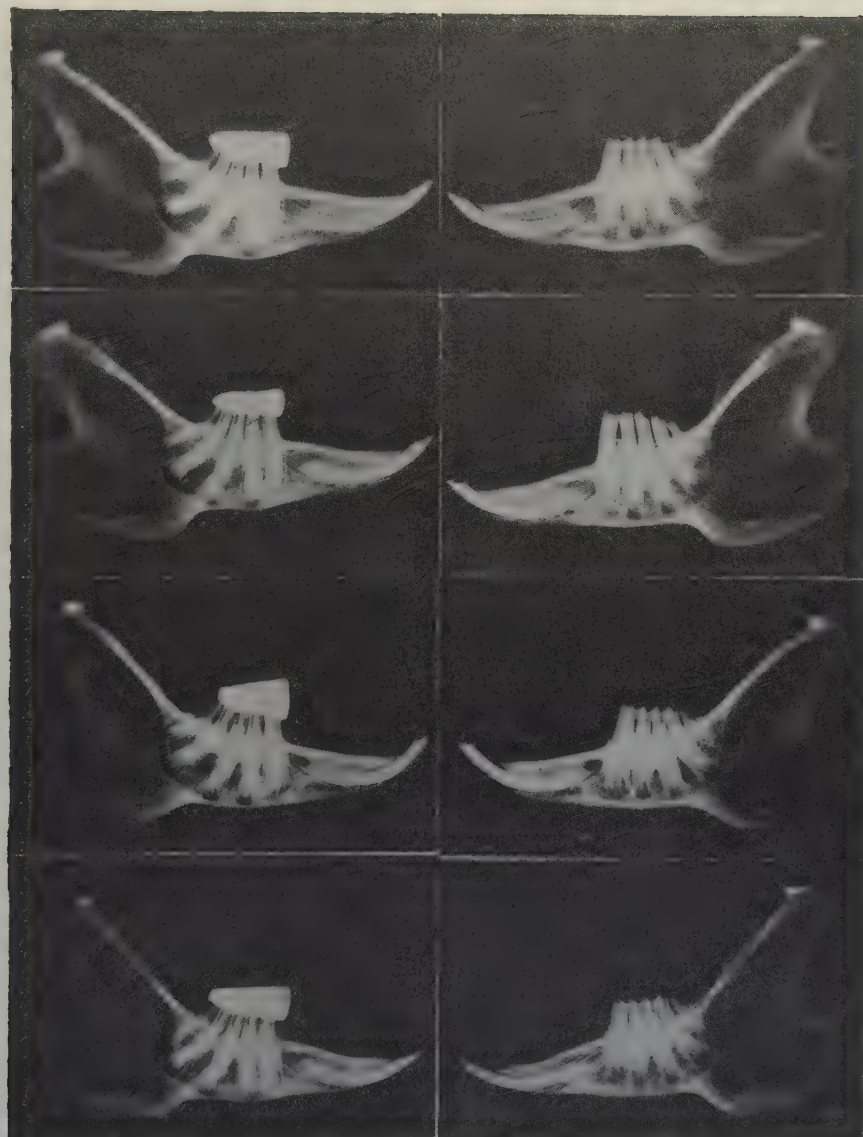


58



397

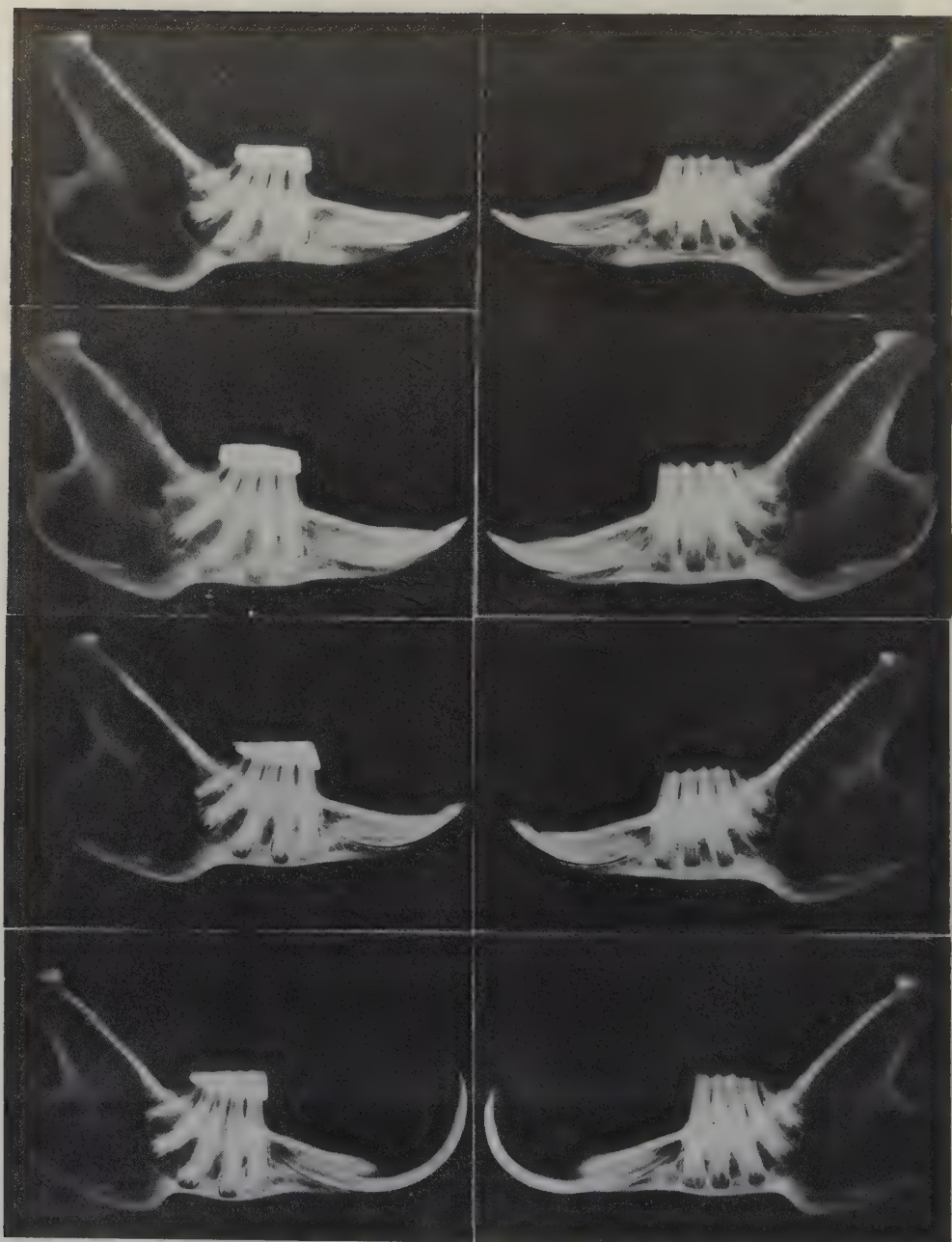
Abb. 15: Vergleich der Unterkieferhälften in der Versuchsgruppe mit Aufbiß-
schienen auf den rechten unteren Seitenzähnen (junge Tiere) -
die dick ausgezogenen Linien zeigen die Kontur der rechten Unter-
kieferhälfte.



RECHTS

LINKS

Abb. 16: Laterale Röntgenaufnahmen der getrennten Unterkieferhälften - Versuchsgruppe mit Aufbißschienen auf den rechten unteren Seitenzähnen (junge Tiere) - Gegenüberstellung der rechten und linken Seite. Die durch die Schiene belasteten Zähne reichen zum Teil bis in die Kompakta des Unterkieferrandes und zeigen Wurzelkrümmungen.



RECHTS

Abb. 16. Fortsetzung

LINKS

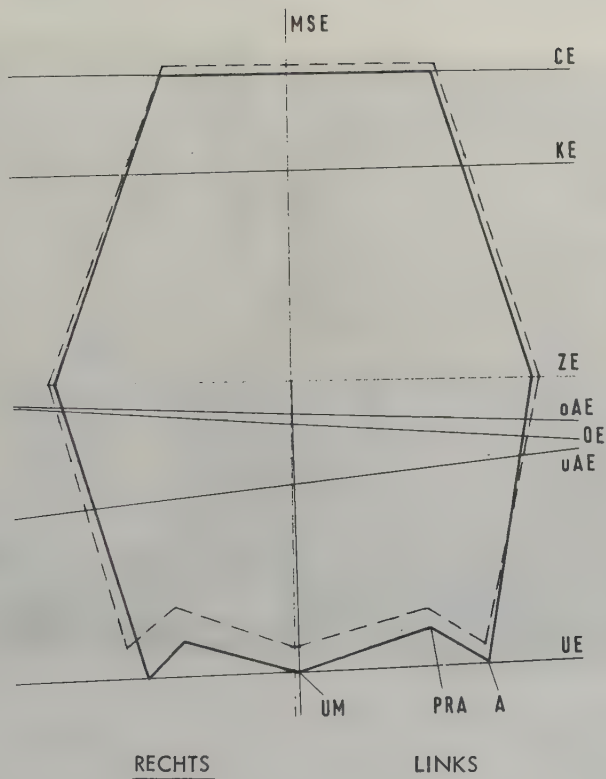


Abb. 17: Durchschnittspolygon aus den Meßwerten der Fernröntgenanalyse in der norma frontalis für die Versuchsgruppe mit Aufbißschiene auf der rechten unteren Seitenzahnreihe (junge Tiere) im Vergleich zur Kontrollgruppe (gestrichelte Linien) - Zeichenerklärung in Abbildung 11; Erläuterungen im Text.

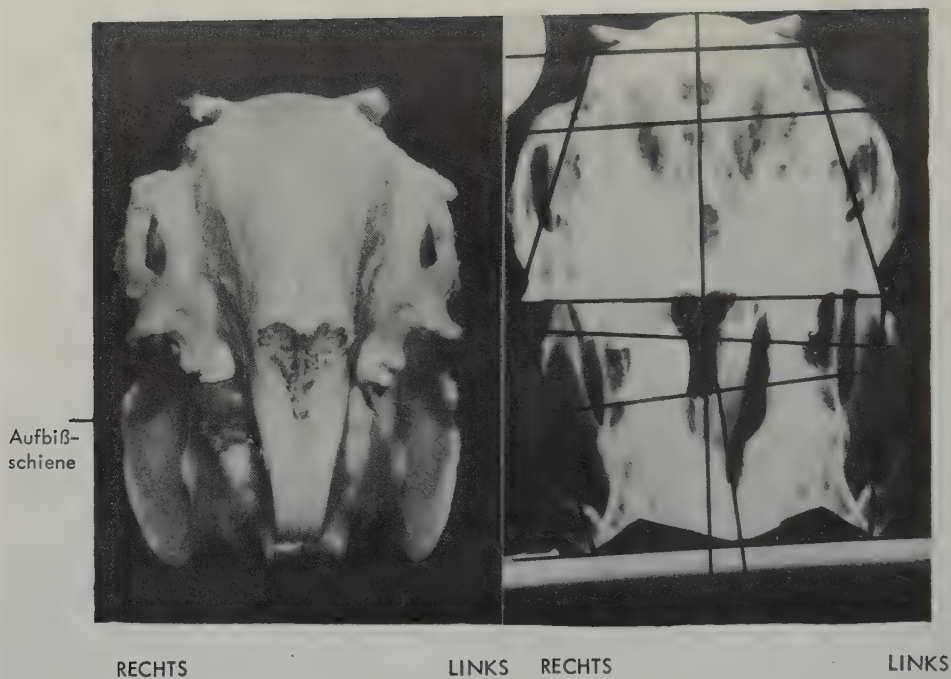
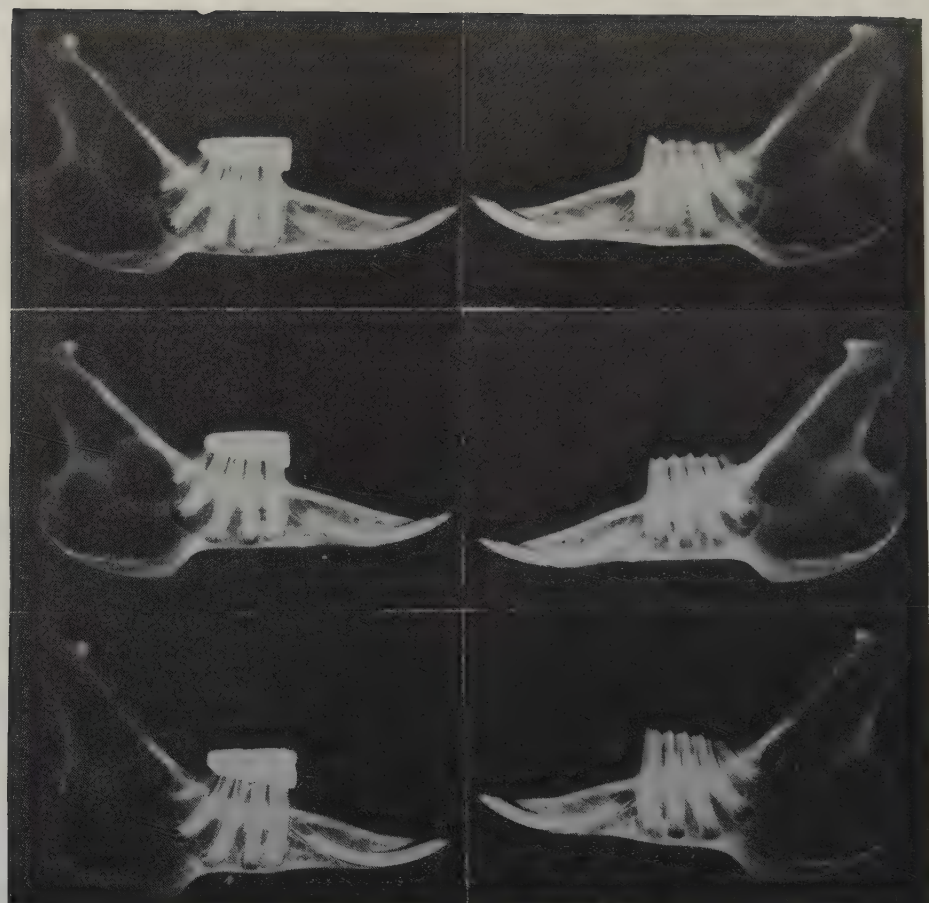


Abb. 18: Vorderansicht und frontale Fernröntgenaufnahme des Präparates Nr. VII.
Bei diesem (ausgewachsenen) Versuchstier wurde eine Aufbißschiene auf
den rechten unteren Seitenzähnen befestigt.



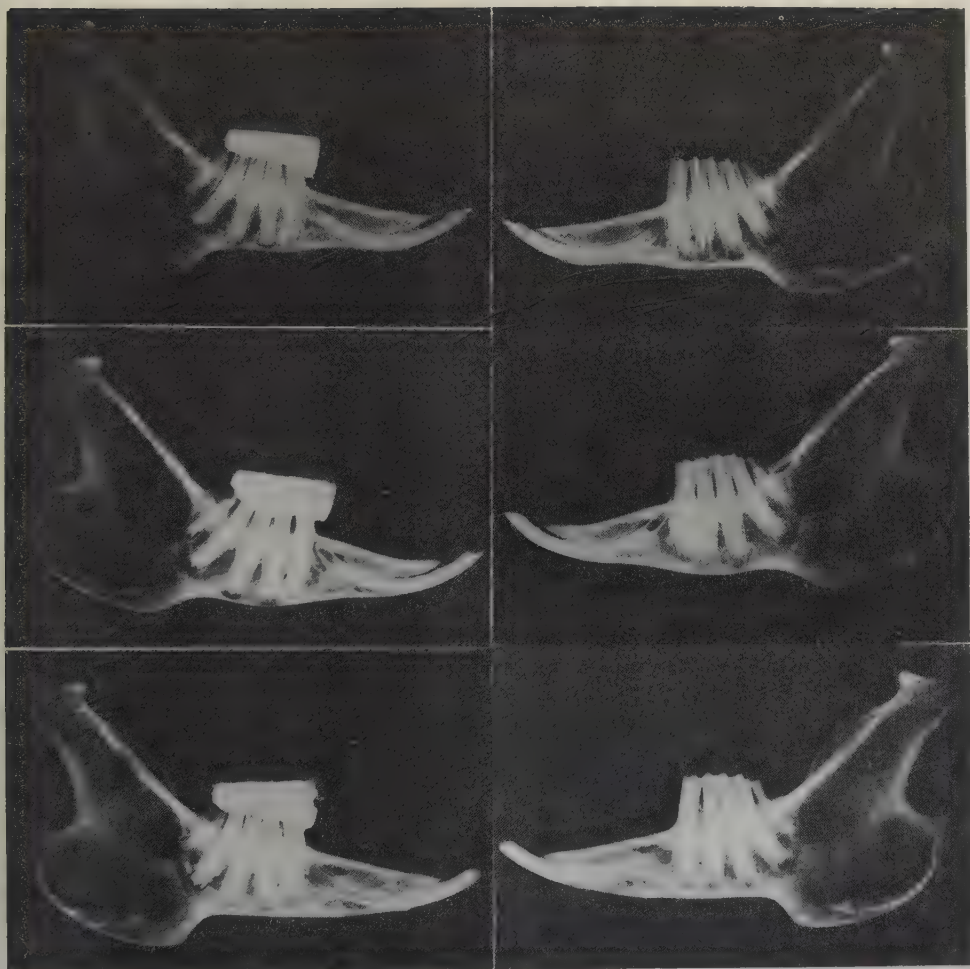
Abb. 19: Vergleich der Unterkieferhälften in der Versuchsgruppe mit Aufbiß-
schienen auf den rechten unteren Seitenzähnen (ausgewachsene Tiere)
 - die dick ausgezogene Linie zeigt die Kontur der rechten Unter-
 kieferhälfte. Die typischen Veränderungen, die in der entsprechenden
 Versuchsgruppe mit jungen Versuchstieren beobachtet wurden, sind
 hier nicht sichtbar.



RECHTS

LINKS

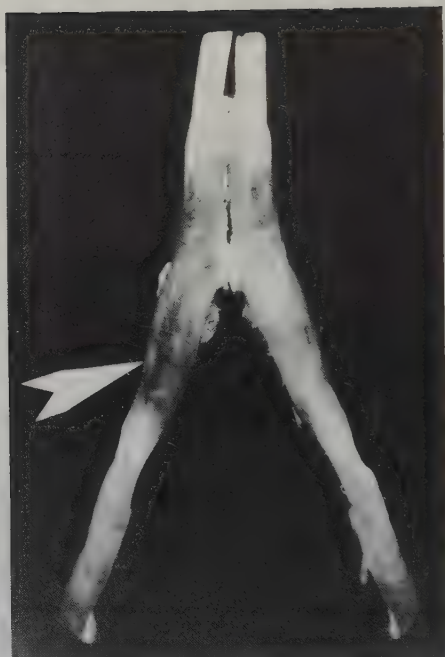
Abb. 20: Laterale Röntgenaufnahmen der getrennten Unterkieferhälften -
 Versuchsgruppe mit Aufbißschienen auf den rechten unteren Seiten-
zähnen (ausgewachsene Tiere) - Gegenüberstellung der rechten und
 linken Seite.



RECHTS

LINKS

Abb. 20. Fortsetzung



RECHTS

LINKS

Abb. 21: Mandibula des Präparates Nr. 1 - Ansicht von unten. Am rechten Unterkieferrand, unterhalb der durch eine Aufbißschiene belasteten Seitenzahnreihe, zeigt sich eine intensive Anfärbung des Knochens mit Alizarin-Rot-S, nähere Erläuterungen im Text.

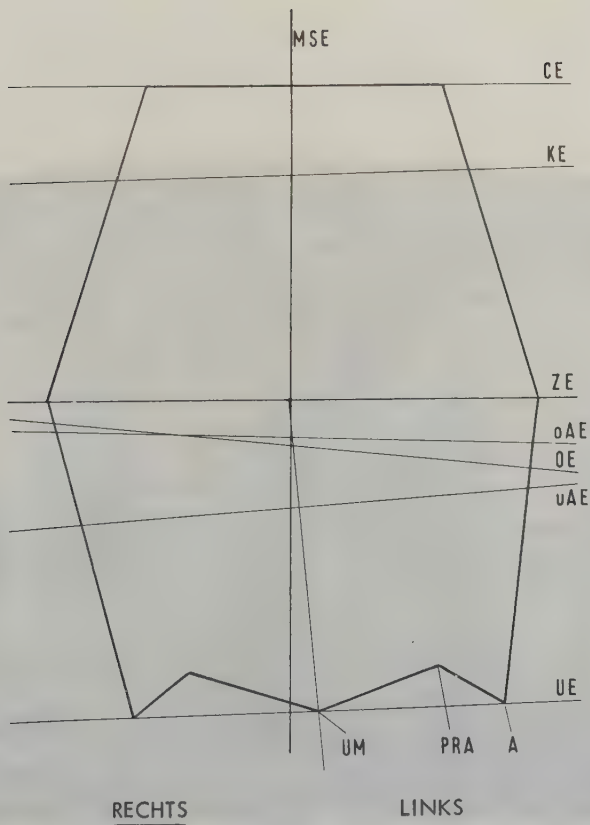
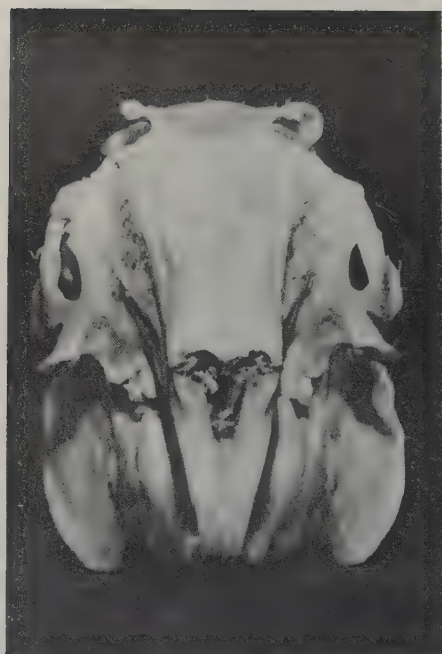


Abb. 22: Durchschnittspolygon aus den Meßwerten der Fernröntgenanalyse in der norma frontalis für die Versuchsgruppe mit Aufbißschienen auf den rechten unteren Seitenzähnen (ausgewachsene Tiere) - Zeichenerklärung in Abbildung 11; Erläuterungen im Text.



RECHTS

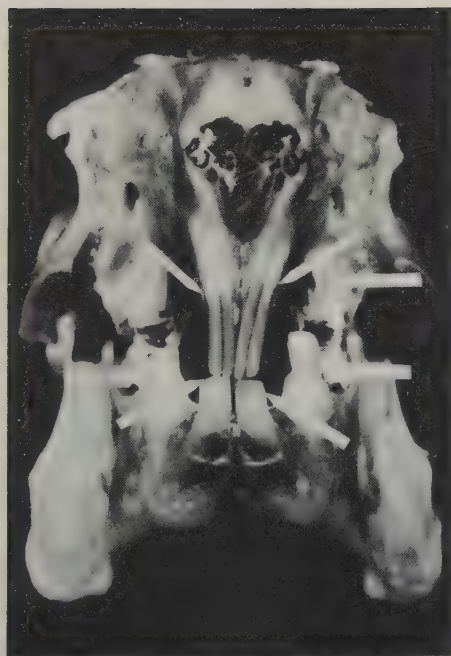


LINKS

RECHTS

LINKS

Abb. 23: Vorderansicht und frontale Fernröntgenaufnahme des Präparates Nr. 32.
Bei diesem Versuchstier wurden die Kronen der rechten Seitenzähne im Oberkiefer und Unterkiefer wiederholt abgeschliffen.



RECHTS

LINKS

Abb. 24: Durch das wiederholte Abschleifen der rechten Seitenzähne ist die Durchbruchrate der Zähne auf der rechten Seite erhöht. Auch die Farbmarkierungen an den Nagezähnen zeigen rechts eine Beschleunigung des Zahndurchbruchs an.

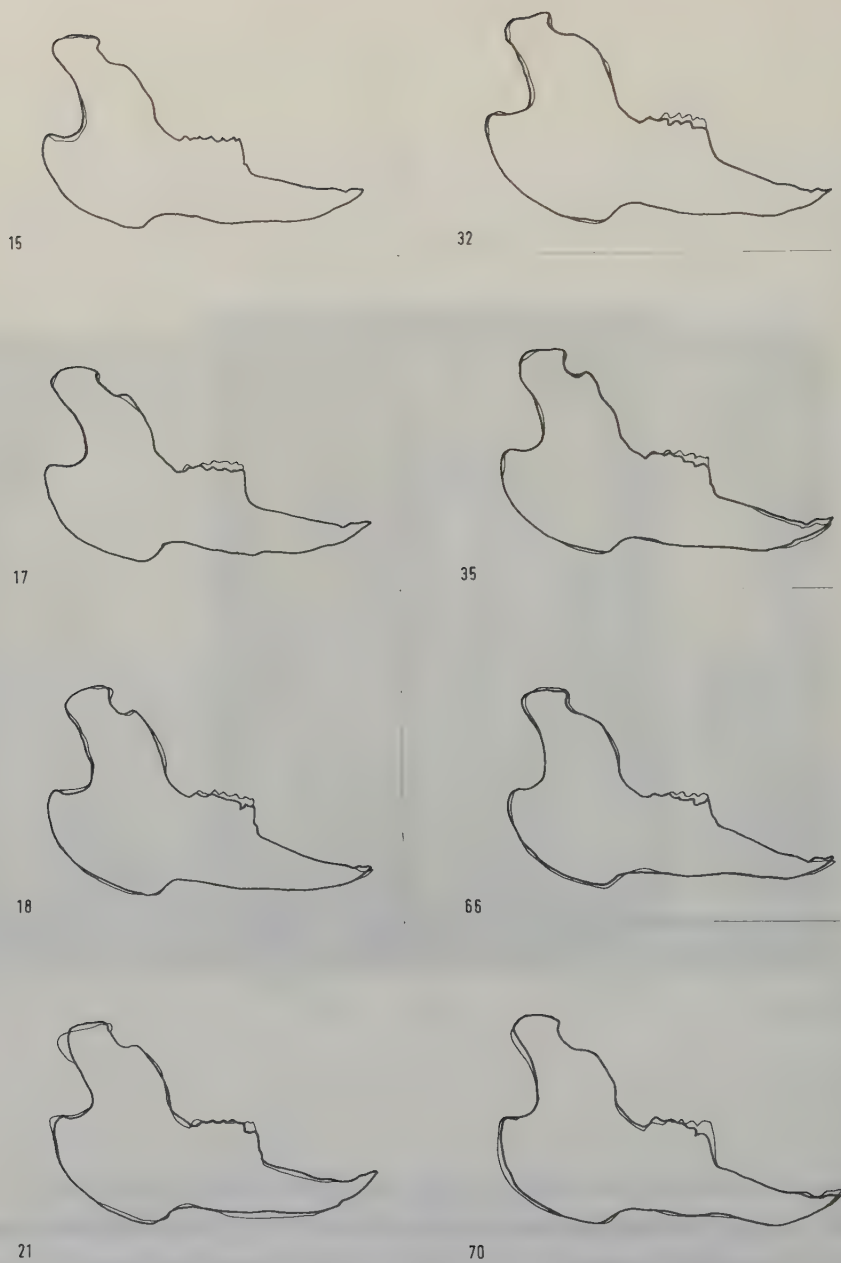


Abb. 25: Vergleich der Unterkieferhälften in der Versuchsgruppe mit Abschleifen
der rechten Seitenzähne - die dick ausgezogene Linie zeigt die Kontur
der rechten Unterkieferhälfte.

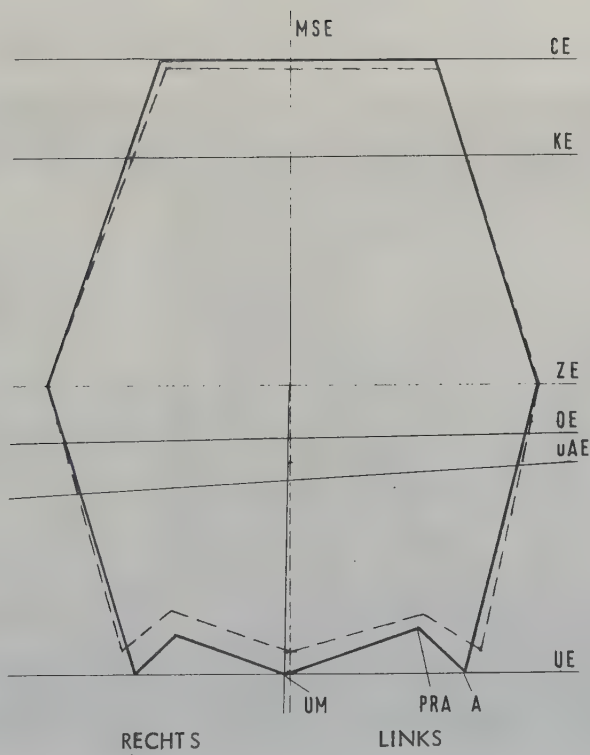


Abb. 26: Durchschnittspolygon aus den Meßwerten der Fernröntgenanalyse in der norma frontalis für die Versuchsgruppe mit Abschleifen der rechten Seitenzähne im Vergleich zur Kontrollgruppe (gestrichelte Linien) - Zeichen-
erklärung in Abbildung 11; Erläuterungen im Text.



RECHTS



LINKS RECHTS

LINKS

Abb. 27: Vorderansicht und frontale Fernröntgenaufnahme des Präparates Nr. 9.
Bei diesem Versuchstier wurde rechts eine Kondylektomie durchgeführt.

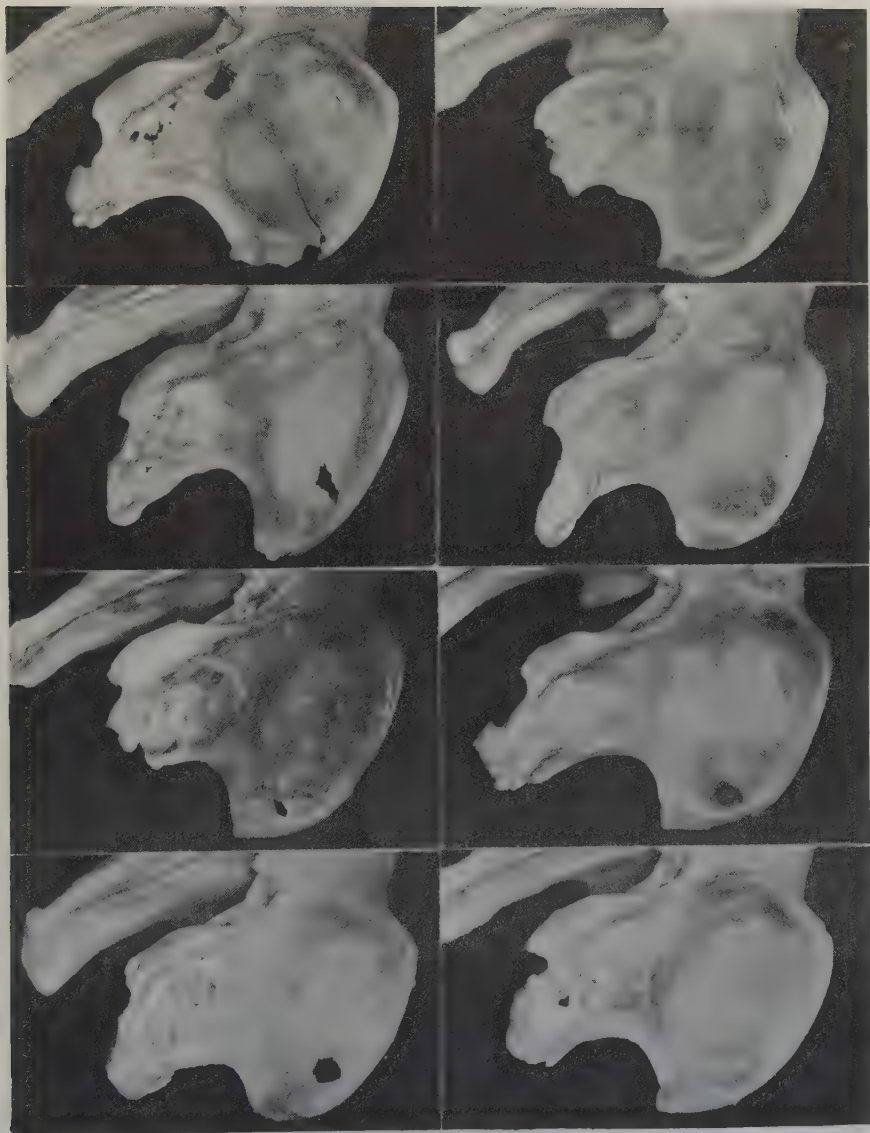


Abb. 28: Der rechte aufsteigende Unterkieferast der Präparate mit Kondylektomie.
In einigen Fällen ist es zur partiellen Regeneration des Kondylus gekommen.

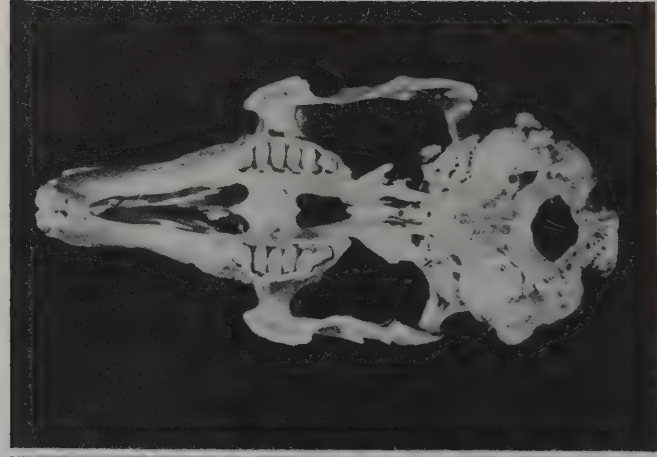


Abb. 29: Verschiedene Ansichten des Präparates Nr. 28 mit deutlich sichtbarer Schädelasymmetrie. Bei diesem Versuchstier wurde rechts eine Kondylektomie durchgeführt.



6



30



9



39



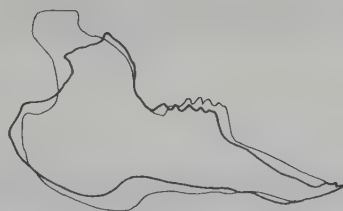
27



64



28



71

Abb. 30: Vergleich der Unterkieferhälften in der Versuchsgruppe mit Kondylektomie
 – die dick ausgezogene Linie zeigt die Kontur der rechten Unterkiefer-
 hälfte. Hypoplasie im Bereich des aufsteigenden Astes und Kieferwinkel-
 fortsatzes. Die Ansatzstelle des M. temporalis tritt dagegen stärker hervor.

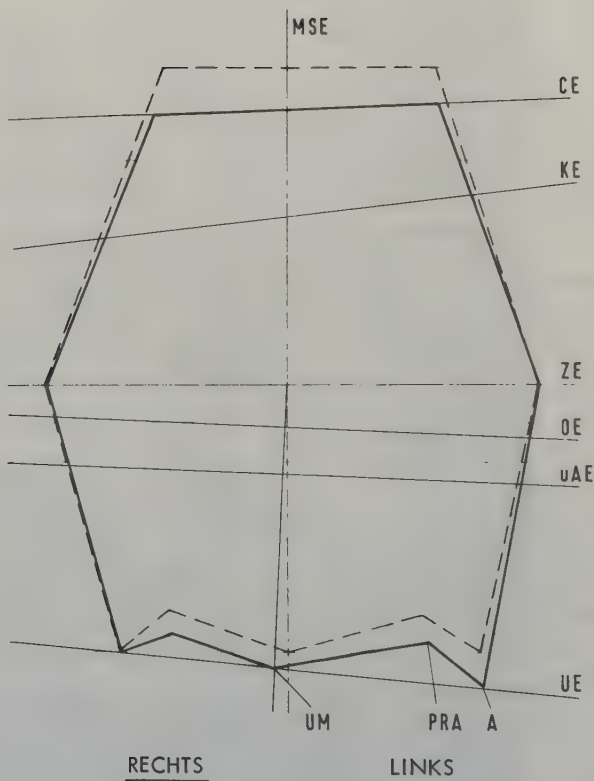
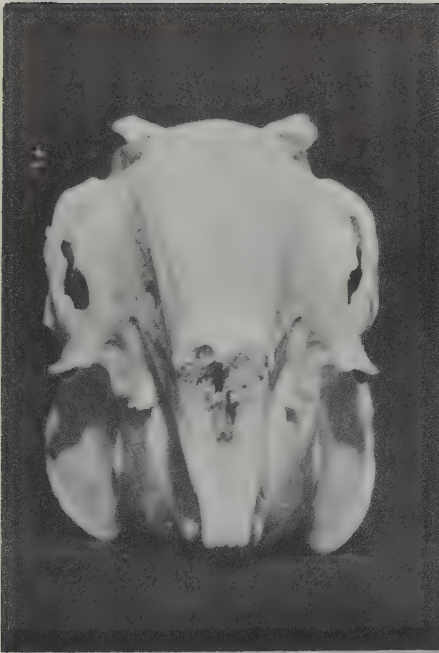
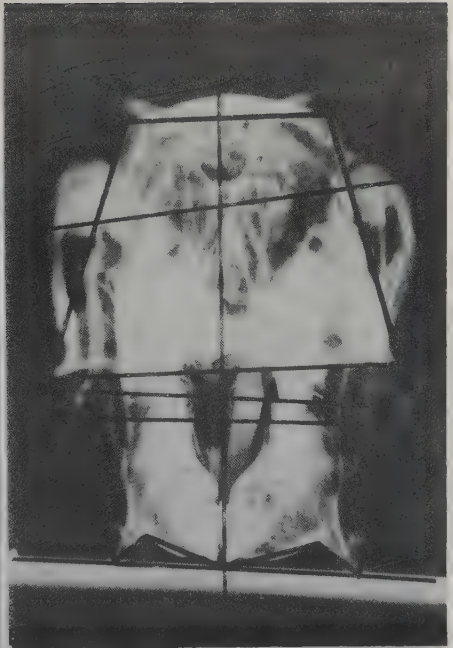


Abb. 31: Durchschnittpolygon aus den Meßwerten der Fernröntgenanalyse in der norma frontalis für die Versuchsgruppe mit Kondylektomie auf der rechten Seite im Vergleich zur Kontrollgruppe (gestrichelte Linien) - Zeichen-
erklärung in Abbildung 11; Erläuterungen im Text.



RECHTS



LINKS RECHTS

LINKS

Abb. 32: Vorderansicht und frontale Fernröntgenaufnahme des Präparates Nr. 43.
Bei diesem Versuchstier wurde ein Kunststoffkeil in den Gelenkspalt des rechten Kiefergelenkes implantiert.

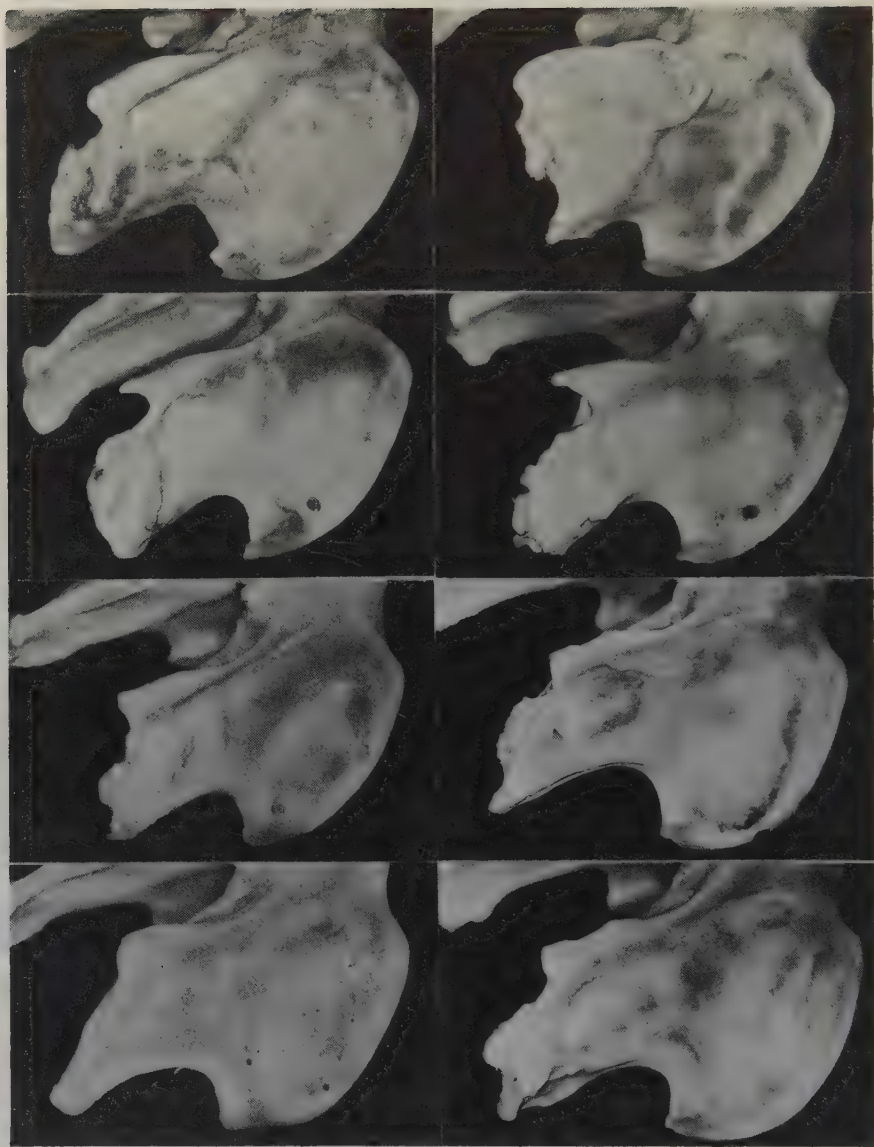


Abb. 33: Rechter aufsteigender Unterkieferast der Präparate, bei denen ein Kunststoffkeil in den Gelenkspalt des rechten Kiefergelenkes implantiert worden war.

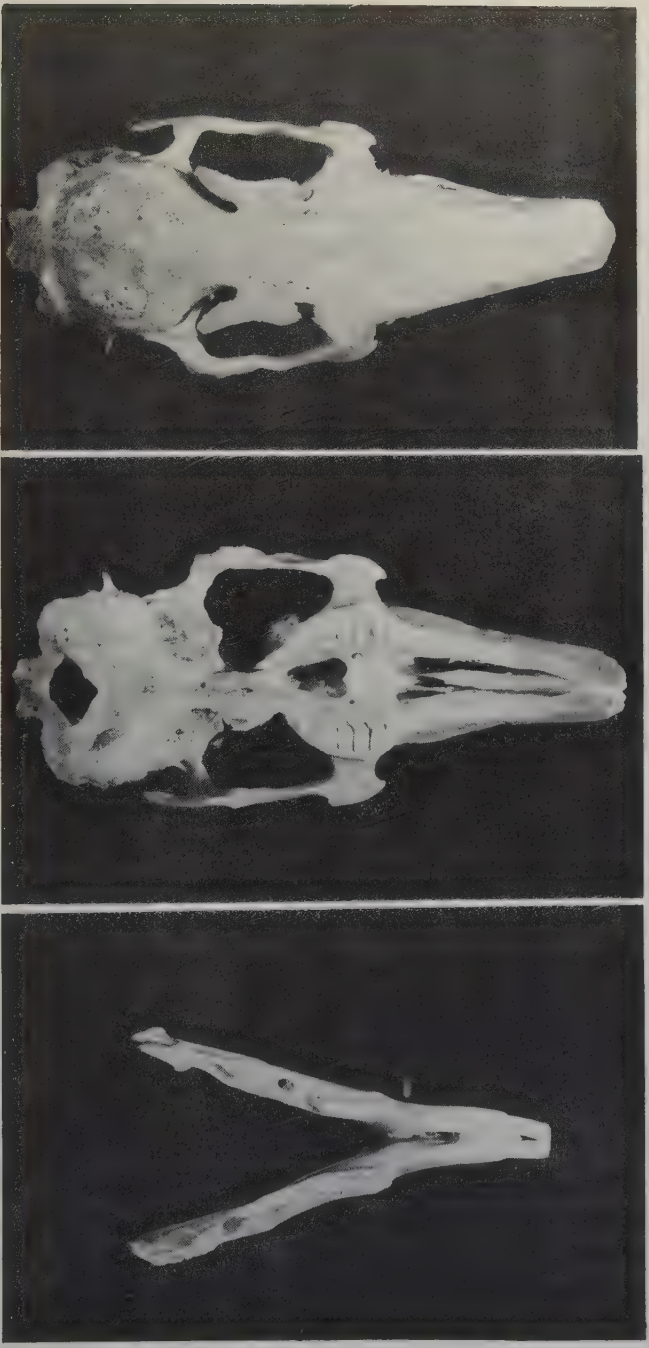


Abb. 34: Verschiedene Ansichten des Präparates Nr. 11 mit deutlich sichtbarer Schädelasymmetrie. Bei diesem Versuchstier wurde ein Kunststoffkeil in den Gelenkspalt des rechten Kiefergelenkes implantiert.

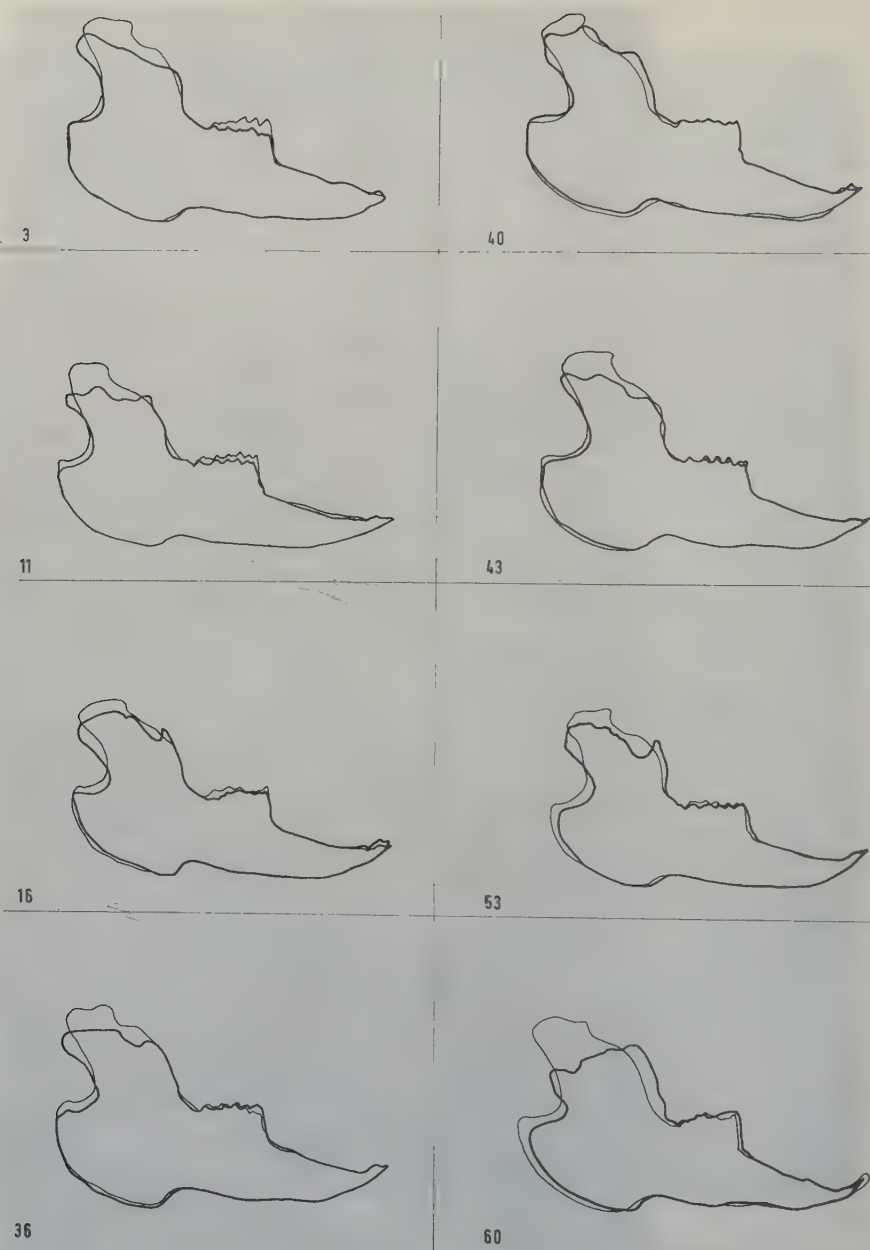


Abb. 35: Vergleich der Unterkieferhälften in der Versuchsgruppe mit Implantation
eines Kunststoffkeils in den Gelenkspalt des rechten Kiefergelenkes – die
 dick ausgezogene Linie zeigt die Kontur der rechten Unterkieferhälfte.

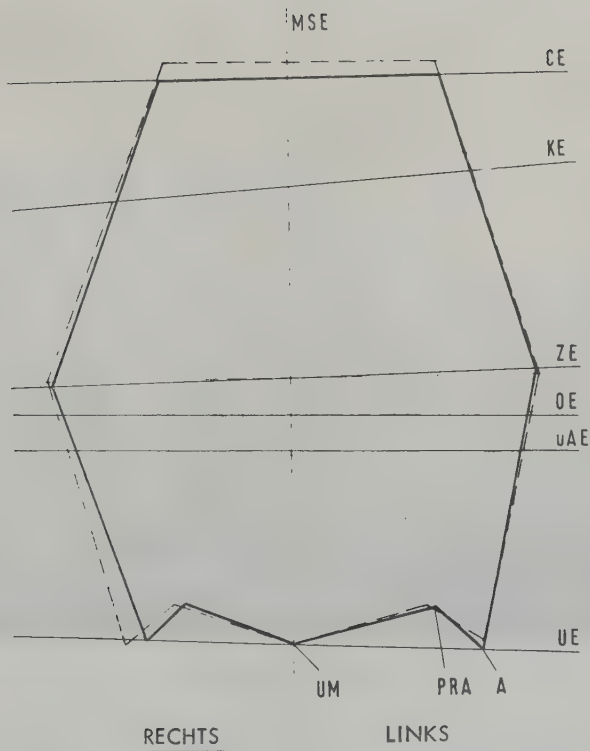
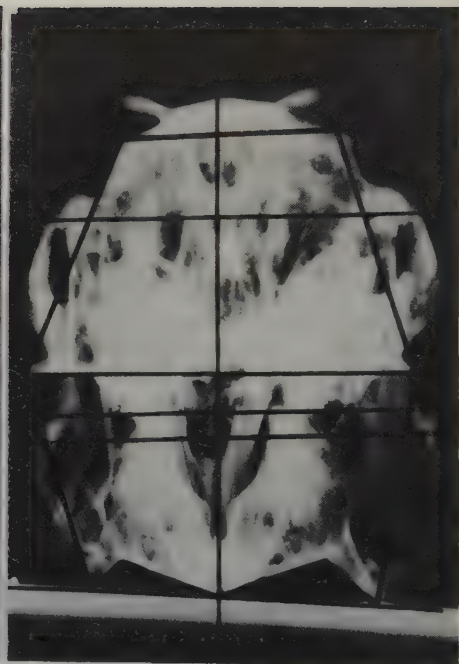


Abb. 36: Durchschnittpolygon aus den Meßwerten der Fernröntgenanalyse in der norma frontalis für die Versuchsgruppe mit Implantation eines Kunststoffkeils in den Gelenkspalt des rechten Kiefergelenkes im Vergleich zur Kontrollgruppe (gestrichelte Linien) - Zeichenerklärung in Abbildung 11; Erläuterungen im Text.



RECHTS



LINKS

RECHTS

LINKS

Abb. 37: Vorderansicht und frontale Fernröntgenaufnahme des Präparates Nr. 67.

Bei diesem Versuchstier wurde rechts eine Muskeltransposition durchgeführt.



RECHTS



LINKS RECHTS

LINKS

Abb. 38: Vorderansicht und frontale Fernröntgenaufnahme des Präparates Nr. 41.

Bei diesem Versuchstier wurde rechts eine Muskeltransposition und links eine Kontrolloperation durchgeführt.

RECHTS

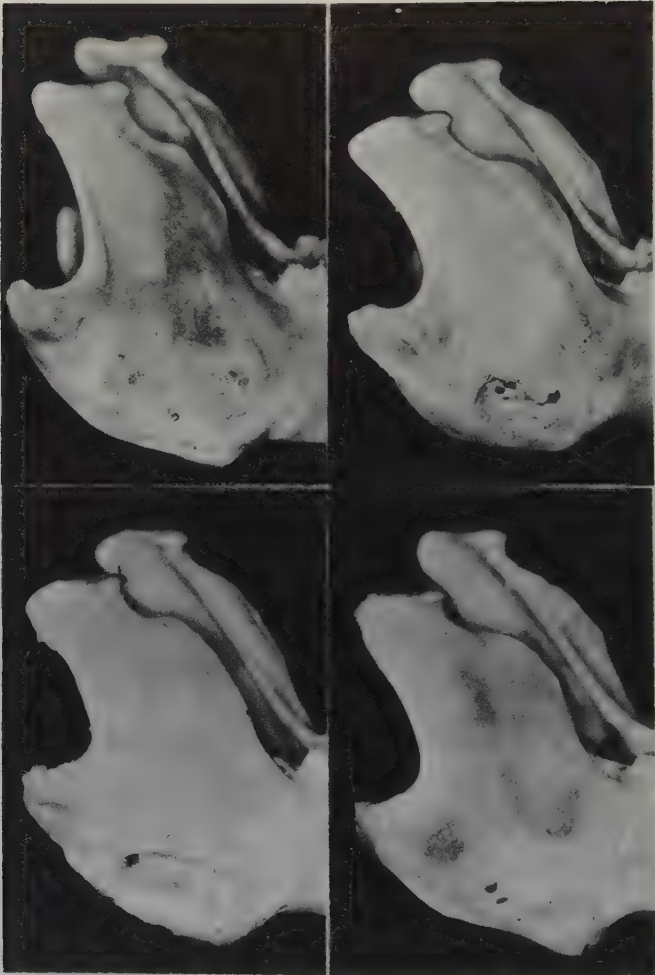


Abb. 39: Rechter Kieferwinkelfortsatz der Präparate mit Muskeltransposition des rechten M. masseter und des M. pterygoideus medialis.

RECHTS LINKS

RECHTS LINKS

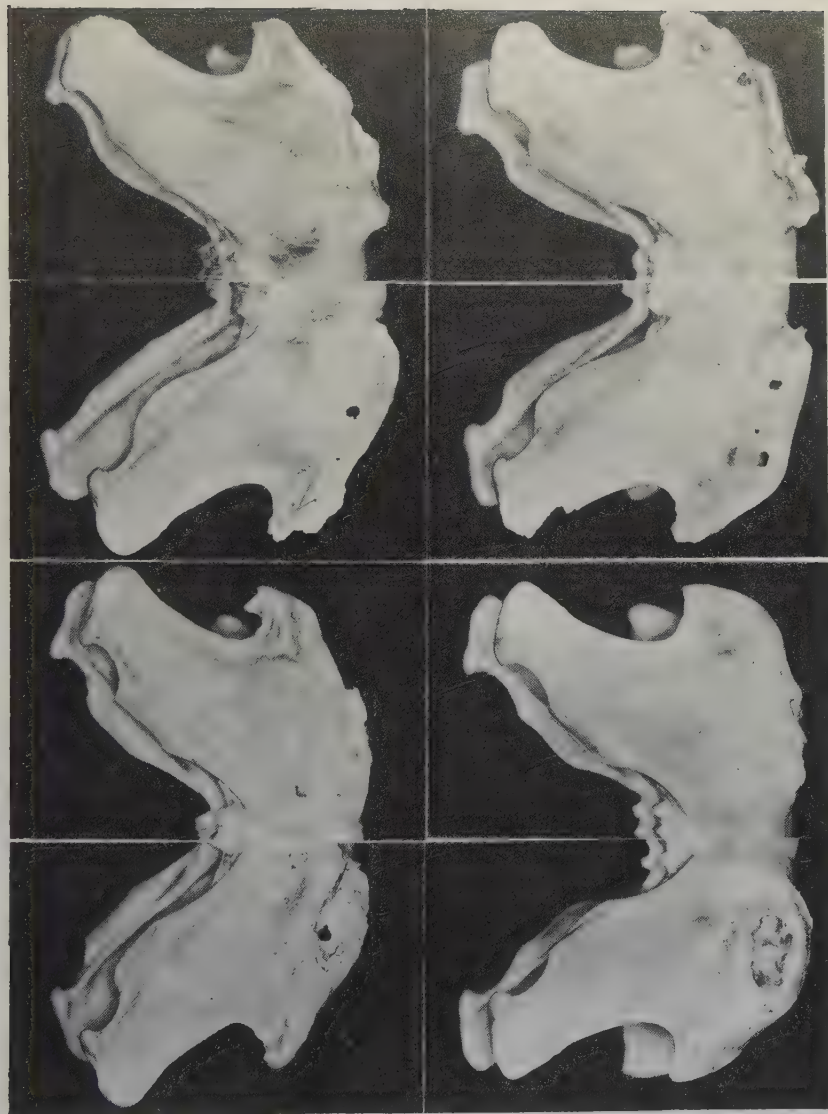


Abb. 40: Rechter und linker Kieferwinkelfortsatz der Präparate mit Kaumuskeltansposition auf der rechten und Kontrolloperation auf der linken Seite. Die durch die beiden Eingriffe bewirkten Veränderungen sind annähernd gleich.

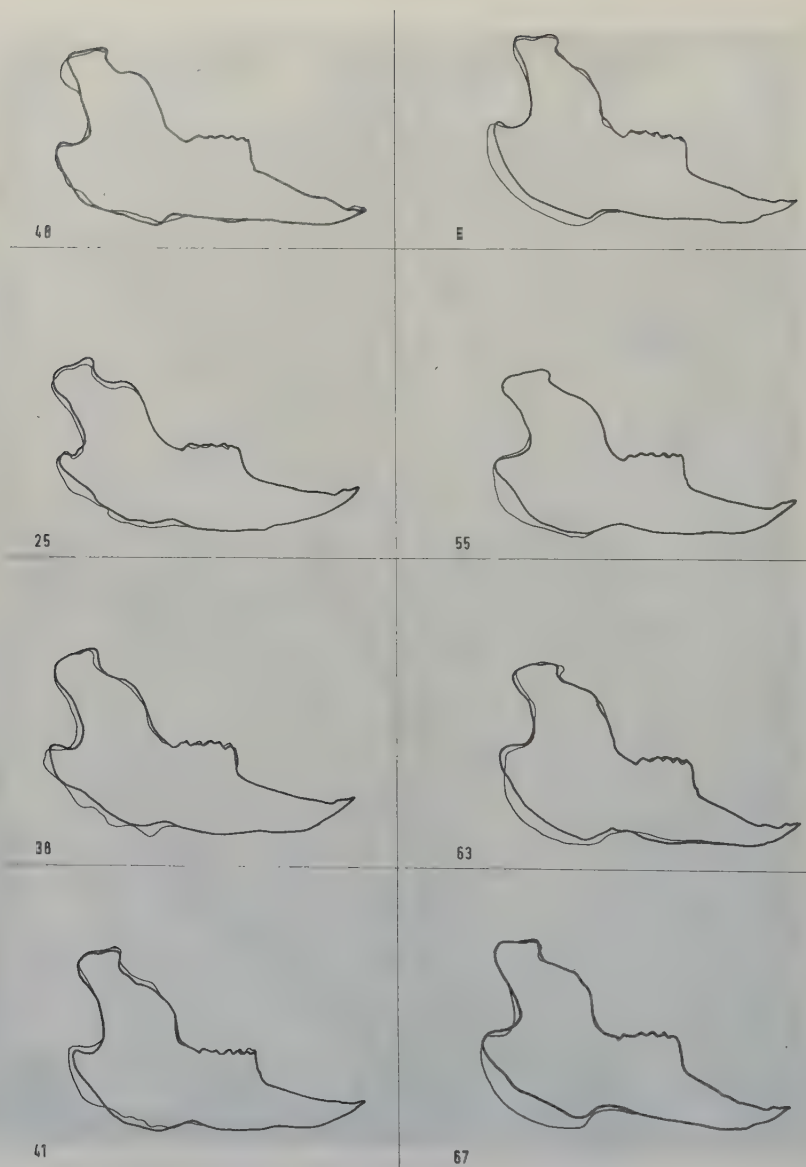


Abb. 41: Vergleich der Unterkieferhälften in der Versuchsgruppe mit Muskel-
transposition des rechten M. masseter und des M. pterygoideus medialis
 (in der linken Spalte befinden sich die Fälle mit Kontrolloperation auf der
 linken Seite, in der rechten Spalte die Fälle ohne Kontrolloperation) -
 die dick ausgezogene Linie zeigt die Kontur der rechten Unterkieferhälfte.

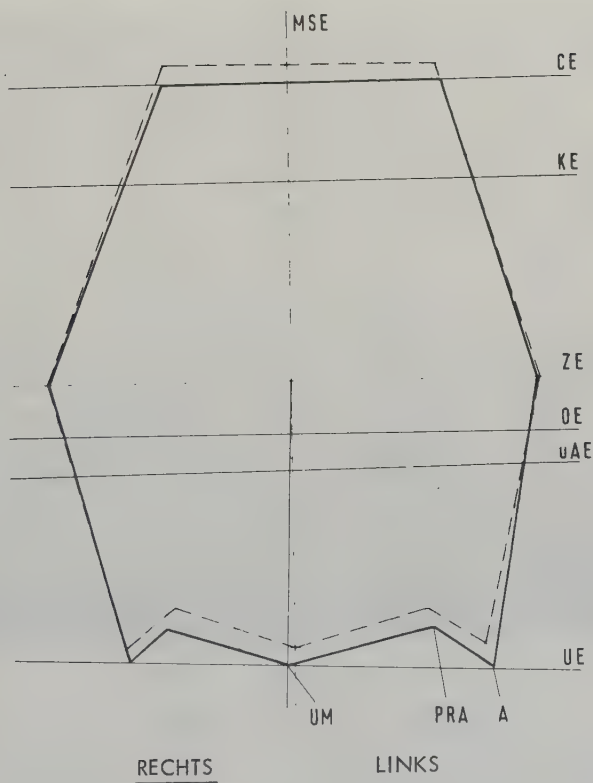


Abb. 42: Durchschnittspolygon aus den Meßwerten der Fernröntgenanalyse in der norma frontalis für die Versuchsgruppe mit Muskeltransposition des rechten M. masseter und M. pterygoideus medialis (ohne Kontrolloperation auf der Gegenseite) im Vergleich zur Kontrollgruppe (gestrichelte Linien) - Zeichenerklärung in Abbildung 11; Erläuterungen im Text.

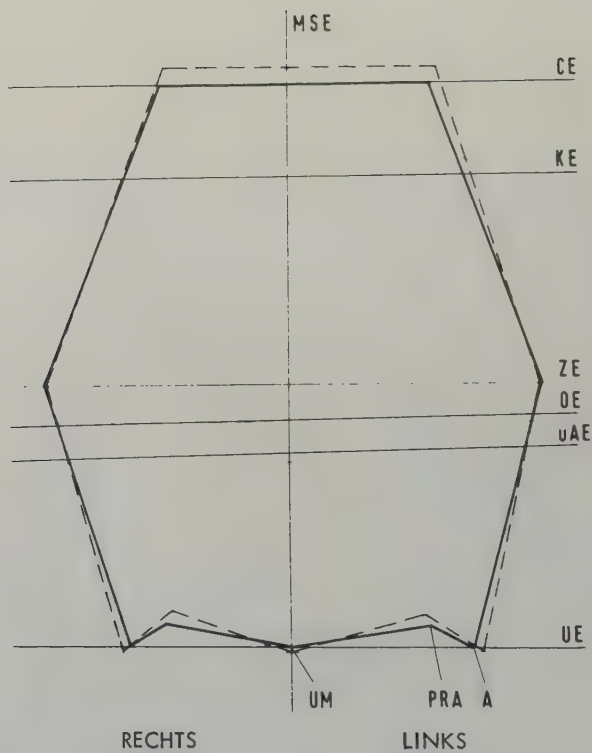
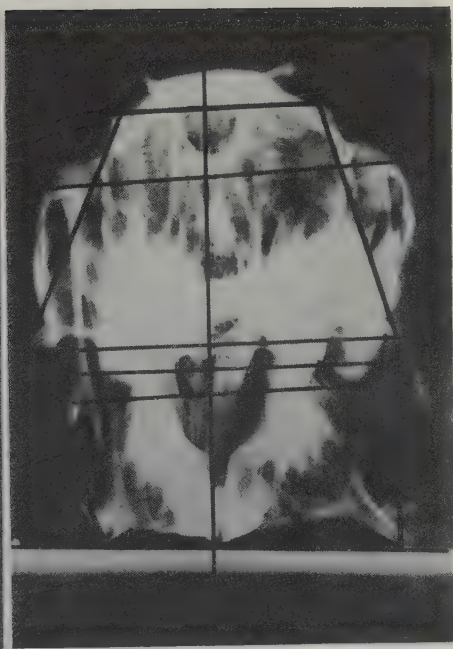


Abb. 43: Durchschnittspolygon aus den Meßwerten der Fernröntgenanalyse in der norma frontalis für die Versuchsgruppe mit Muskeltransposition des rechten M. masseter und M. pterygoideus medialis (mit Kontrolloperation auf der linken Seite) im Vergleich zur Kontrollgruppe (gestrichelte Linien) - Zeichenerklärung in Abbildung 11; Erläuterungen im Text.



RECHTS



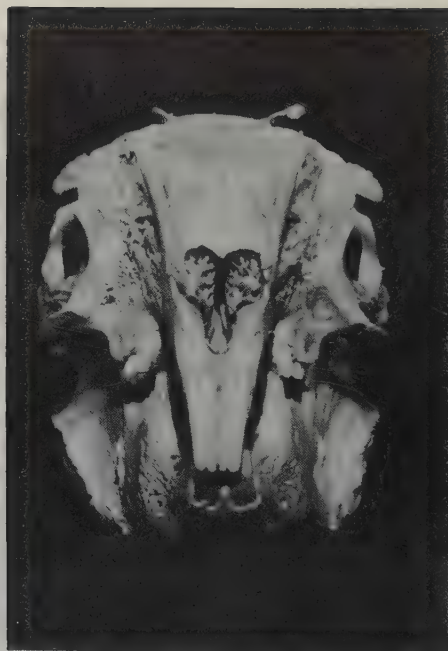
LINKS

RECHTS

LINKS

Abb. 44: Vorderansicht und frontale Fernröntgenaufnahme des Präparates Nr. 57.

Bei diesem Versuchstier wurde auf der rechten Seite der *M. masseter* und der *M. pterygoideus medialis* gekürzt.



RECHTS



LINKS RECHTS

LINKS

Abb. 45: Vorderansicht und frontale Fernröntgenaufnahme des Präparates Nr. 33.
Bei diesem Versuchstier wurde auf der rechten Seite der M. masseter und der M. pterygoideus medialis gekürzt und links eine Kontrolloperation durchgeführt.

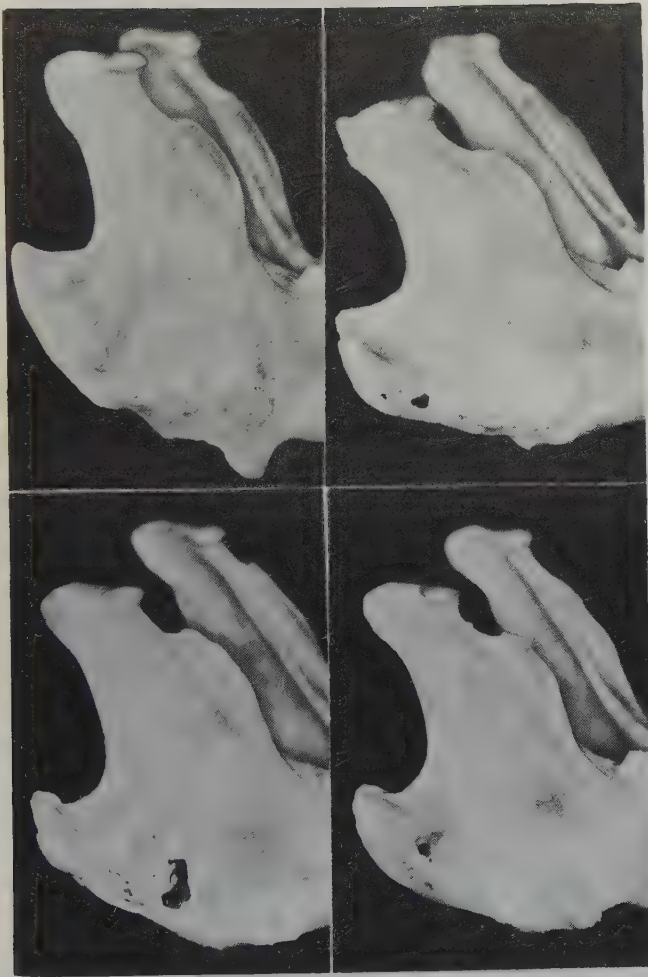
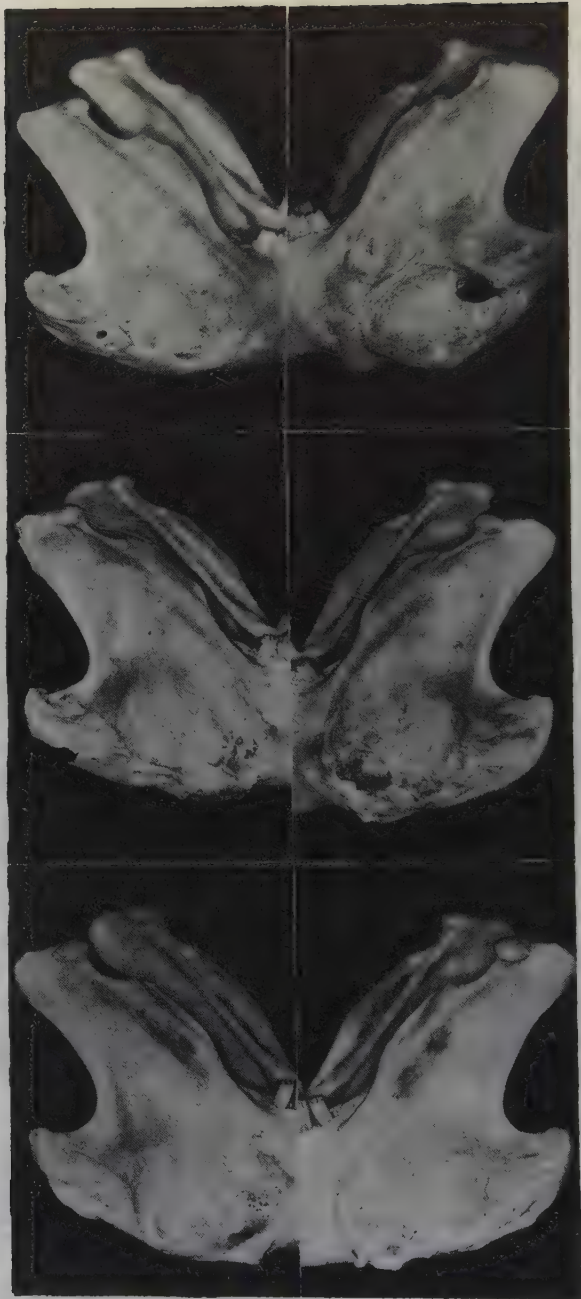
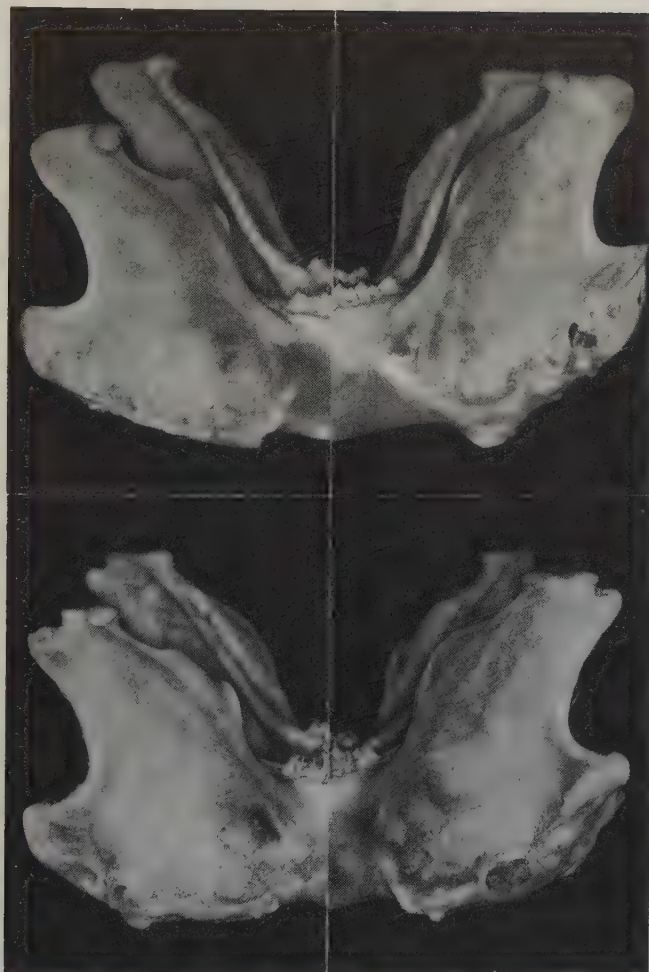


Abb. 46: Rechter Kieferwinkelfortsatz der Präparate, bei denen auf der rechten Seite der M. masseter und der M. pterygoideus medialis gekürzt worden war.



RECHTS LINKS

Abb. 47: Rechter und linker Kieferwinkelfortsatz der Präparate, bei denen auf der rechten Seite der M. masseter und der M. pterygoideus medialis gekürzt und links eine Kontrolloperation durchgeführt worden war - amthierend gleiche Wirkung.



RECHTS LINKS

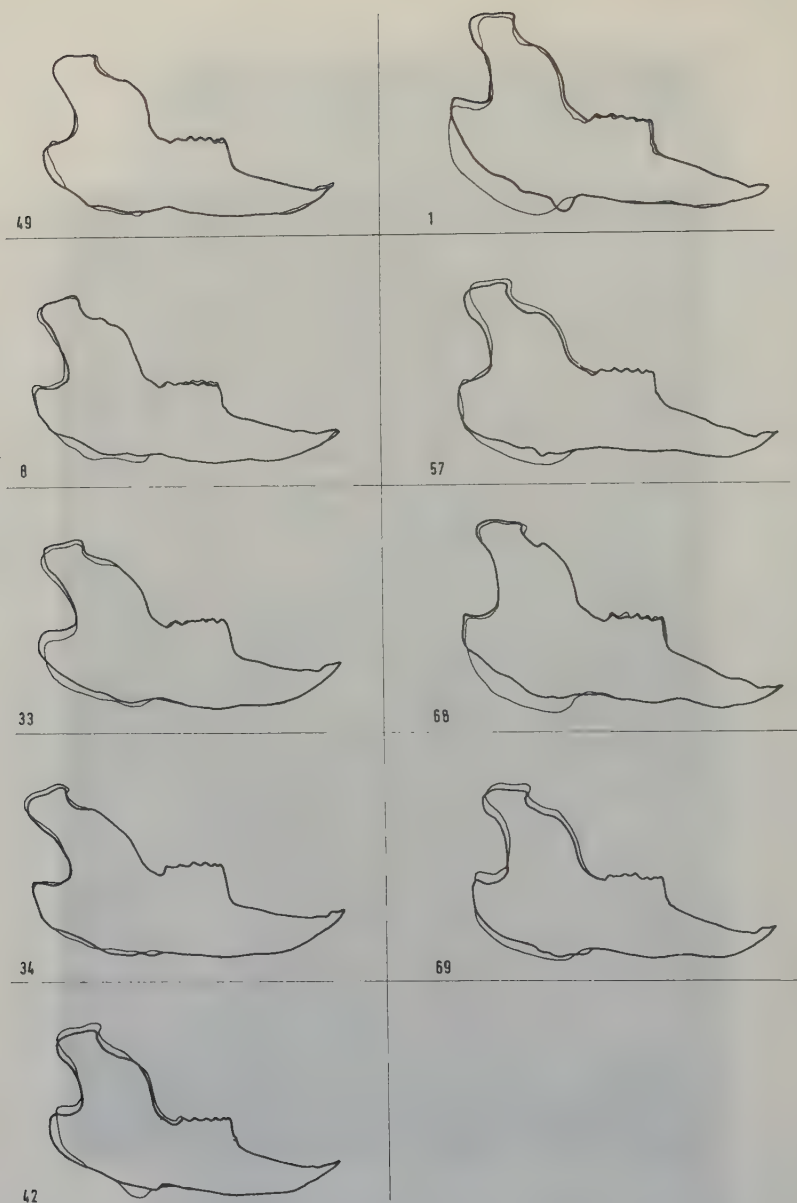


Abb. 48: Vergleich der Unterkieferhälften in der Versuchsgruppe mit Muskelkürzung des rechten M. masseter und M. pterygoideus medialis (in der linken Spalte befinden sich die Fälle mit Kontrolloperation auf der linken Seite, in der rechten Spalte die Fälle ohne Kontrolloperation) – die dick ausgezogene Linie zeigt die Kontur der rechten Unterkieferhälfte.

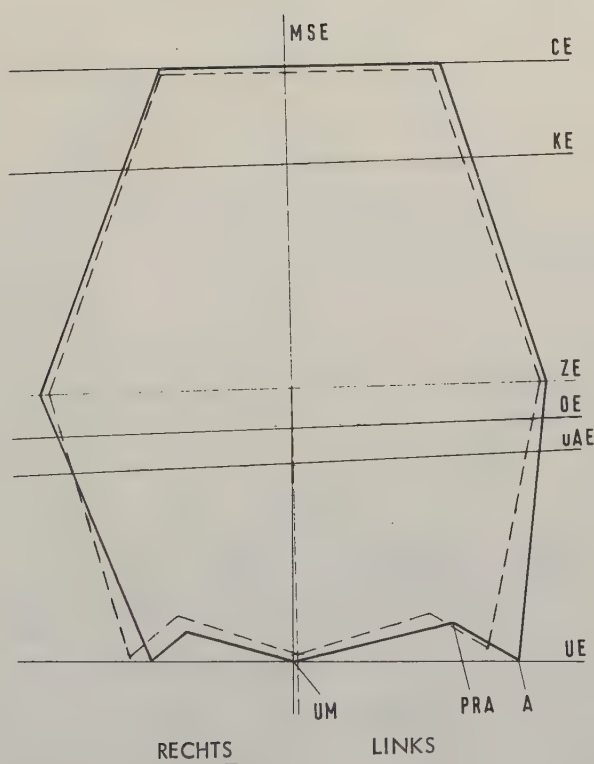


Abb. 49: Durchschnittspolygon aus den Meßwerten der Fernröntgenanalyse in der norma frontalis für die Versuchsgruppe mit Muskelkürzung des rechten M. masseter und M. pterygoideus medialis (ohne Kontrolloperation auf der Gegenseite) im Vergleich zur Kontrollgruppe (gestrichelte Linien) - Zeichenerklärung in Abbildung 11; Erläuterungen im Text.

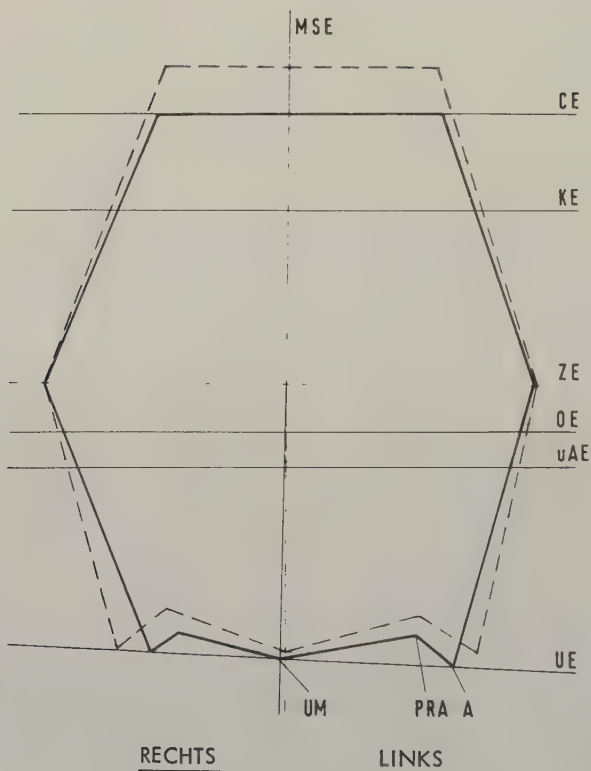


Abb. 50; Durchschnittspolygon aus den Meßwerten der Fernröntgenanalyse in der norma frontalis für die Versuchsgruppe mit Muskelkürzung des rechten M. masseter und M. pterygoideus medialis (mit Kontrolloperation auf der linken Seite) im Vergleich zur Kontrollgruppe (gestrichelte Linien) - Zeichenerklärung in Abbildung 11; Erläuterungen im Text.

Tabelle I: Durchschnittliche Gewichtszunahme der Versuchstiere
in den einzelnen Versuchsgruppen.

Gruppe	Versuchsbeginn	Versuchsende	Differenz
seitliche Aufbißschienen (junge Tiere)	1912 g	3406 g	+ 1494 g
seitliche Aufbißschienen (ausgewachsene Tiere)	4200 g	4100 g	- 100 g
Abschleifen der Zahnkronen	2131 g	3575 g	+ 1444 g
Kondylektomie	2062 g	3875 g	+ 1813 g
Implantation eines Kunststoffkeils in den Gelenkspalt	2025 g	3375 g	+ 1350 g
Muskeltransposition	2069 g	3750 g	+ 1691 g
Muskelkürzung	2139 g	3633 g	+ 1494 g
Kontrollgruppe	1900 g	3406 g	+ 1506 g

Tabelle II: Signifikante Seitenunterschiede der kephalometrischen
Meßwerte in der Gruppe mit seitlichen Aufbißschienen
(junge Tiere).

Meßstrecke	rechte Seite	linke Seite
C ₁₁	6,7 mm	7,2 mm
U ₂	38,0 mm	38,8 mm
U ₃	9,3 mm	6,6 mm
U ₄	13,4 mm	14,1 mm
U ₅	6,2 mm	3,8 mm
U ₉	32,5 mm	32,1 mm
U ₁₁	29,6 mm	28,8 mm

Tabelle III: Signifikante Seitenunterschiede der kephalometrischen
Meßwerte in der Gruppe mit seitlichen Aufbißschienen
(alte Tiere).

Meßstrecke	rechte Seite	linke Seite
C ₅	30,4 mm	32,4 mm
C ₆	18,7 mm	19,8 mm
C ₁₁	6,8 mm	7,4 mm
C ₁₂	13,6 mm	13,0 mm
U ₃	11,1 mm	7,9 mm
U ₄	12,8 mm	13,5 mm
U ₅	6,6 mm	4,0 mm
U ₈	17,2 mm	17,9 mm

Tabelle IV: Signifikante Seitenunterschiede der kephalometrischen
Meßwerte in der Gruppe mit Abschleifen der Zahnkronen.

Meßstrecke	rechte Seite	linke Seite
C ₁₁	6,6 mm	7,2 mm
U ₁	22,7 mm	23,1 mm
U ₄	13,1 mm	13,8 mm
U ₆	15,4 mm	16,5 mm
U ₈	16,9 mm	17,5 mm
U ₁₀	22,3 mm	23,1 mm
U ₁₂	45,5 mm	45,8 mm

Tabelle V: Signifikante Seitenunterschiede der kephalometrischen
Meßwerte in der Gruppe mit Kondylektomie.

Meßstrecke	rechte Seite	linke Seite
C ₄	25,9 mm	27,0 mm
C ₅	29,2 mm	30,8 mm
C ₆	17,8 mm	19,0 mm
C ₉	23,3 mm	25,5 mm
U ₈	15,9 mm	17,1 mm
U ₉	29,9 mm	31,5 mm
U ₁₀	20,9 mm	22,8 mm
U ₁₁	22,1 mm	29,3 mm
U ₁₂	37,4 mm	43,7 mm

Tabelle VI: Signifikante Seitenunterschiede der kephalometrischen
Meßwerte in der Gruppe mit Implantation eines Kunst-
stoffkeils in den Gelenkspalt.

Meßstrecke	rechte Seite	linke Seite
C ₄	25,4 mm	26,1 mm
C ₇	36,6 mm	35,9 mm
C ₉	23,4 mm	24,4 mm
C ₁₂	13,0 mm	12,4 mm
C ₁₄	4,2 mm	3,4 mm
U ₆	15,3 mm	16,0 mm
U ₈	15,9 mm	16,6 mm
U ₉	30,3 mm	31,0 mm
U ₁₀	21,7 mm	23,4 mm
U ₁₁	24,2 mm	28,4 mm
U ₁₂	38,9 mm	43,0 mm

Tabelle VII: Signifikante Seitenunterschiede der kephalometrischen
Meßwerte in der Gruppe mit Muskeltransposition
(Gesamtgruppe).

Meßstrecke	rechte Seite	linke Seite
C ₁₂	13,7 mm	13,3 mm
U ₁	22,7 mm	23,1 mm
U ₈	16,9 mm	17,5 mm
U ₁₀	22,5 mm	23,6 mm
U ₁₂	41,8 mm	42,8 mm

Tabelle VIII: Signifikante Seitenunterschiede der kephalometrischen
Meßwerte in der Gruppe mit Muskeltransposition (ein-
seitiger Eingriff ohne Kontrolloperation).

Meßstrecke	rechte Seite	linke Seite
C ₄	25,4 mm	26,6 mm
U ₁₁	28,3 mm	27,6 mm
U ₁₂	42,2 mm	43,7 mm

Tabelle IX: Signifikante Seitenunterschiede der kephalometrischen Meßwerte in der Gruppe mit Muskelkürzung (Gesamtgruppe).

Meßstrecke	rechte Seite	linke Seite
C ₄	25,8 mm	26,5 mm
C ₇	37,0 mm	36,2 mm
U ₁	23,1 mm	23,7 mm
U ₃	6,0 mm	5,5 mm
U ₈	16,7 mm	17,3 mm
U ₁₀	22,4 mm	23,1 mm
U ₁₁	28,9 mm	28,5 mm
U ₁₂	41,0 mm	42,5 mm

Tabelle X: Signifikante Seitenunterschiede der kephalometrischen Meßwerte in der Gruppe mit Muskelkürzung (einseitiger Eingriff ohne Kontrolloperation).

Meßstrecke	rechte Seite	linke Seite
C ₇	38,7 mm	37,6 mm
U ₃	6,4 mm	5,5 mm

